



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

**POSOUZENÍ SOFTWARE SMAP3D PŘI NÁVRHU
ODPAŘOVACÍ TECHNOLOGIE**

EVALUATION OF SMAP3D SOFTWARE AS A TOOL FOR DESIGN OF EVAPORATION SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Odstrčil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. Ing. Marek Vondra, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Student: **Bc. Marek Odstrčil**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Procesní inženýrství
Vedoucí práce: **Mgr. Ing. Marek Vondra, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Posouzení softwaru Smap3D při návrhu odpařovací technologie

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Program Smap3D Plant Design je doplňující aplikací pro 3D systém SolidWorks. Slouží k efektivnímu navrhování 3D potrubních systémů pro procesní průmysl. V Laboratoři energeticky náročných procesů NETME Centre při Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně bude postavena nová zkušebna zaměřena na odpařování a zahušťování procesních vod. Jedná se o komplexní experimentální zařízení, které bude vybaveno pokročilou měřicí a regulační instrumentací. Diplomová práce posoudí přínos softwaru Smap3D při návrhu a realizaci této zkušebny.

Cíle diplomové práce:

1. Seznámení se s plánovanou zkušebnou zaměřenou na odpařování a zahušťování procesních vod
2. Představení hlavních vlastností a funkčních možností programu Smap3D Plant Design
3. Využití programu Smap3D při návrhu zkušebny a posouzení jeho přínosu

Seznam doporučené literatury:

MORAN, Sean. An applied guide to process and plant design. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, [2015]. ISBN 9780128002421.

PARISHER, Roy A. a Robert A. RHEA. Pipe drafting and design. 3rd ed. Waltham, MA: Elsevier/GPP, 2012. ISBN 9780123847003.

JONES, Frank E. Evaporation of water: with emphasis on applications and measurements. Chelsea, Mich.: Lewis Publishers, c1992. ISBN 9780873713634.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Cílem diplomové práce je posouzení vhodnosti použití softwarového balíčku Smap 3D Plant Design při návrhu odpařovací technologie, konkrétně 3D modelů potrubní sítě, a jejich následná dokumentace. V rámci práce je obecně popsána odpařovací technologie a je představena testovací stanice odparek v Laboratoři energeticky náročných procesů v NETME Centru, ke které je potřeba navrhnout potrubní síť. Obsahem další části práce je vytvoření referenčního 3D modelu a dokumentace potrubní sítě pomocí SolidWorks Routing. V následující části je vytvořen ekvivalentní 3D model pomocí Smap 3D Plant Design – Piping a výkresová dokumentace pomocí Smap 3D Plant Design – Isometric. Na závěr byly jednotlivé postupy srovnány a je vybrán doporučený návrhový postup.

Klíčová slova

Potrubí, Smap 3D Plant Design, SolidWorks, odparka, 3D model, armatury

Summary

The main goal of the master thesis is an evaluation of a software package Smap 3D Plant Design in design of evaporation technology, specifically 3D of the pipeline network and its subsequent documentation. The thesis describes evaporation technology in general, then the evaporator testing site in Laboratory of Energy Intensive Processes in NETME Centre is presented, where pipeline network needs to be designed. In the next part a reference 3D model was created as well as a documentation using SolidWorks routing. Subsequently, an equivalent 3D model was created using Smap 3D Plant Design – Piping and a documentation was created using Smap 3D Plant Design – Isometric. Finally, these two methods of creating pipeline were compared to each other, and recommended method was chosen.

Keywords

Pipeline, Smap 3D Plant Design, SolidWorks, evaporator, 3D model, fittings

ODSTRČIL, Marek. Posouzení softwaru Smap3D při návrhu odpařovací technologie. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129617>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Marek Vondra.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Posouzení softwaru Smap 3D při návrhu odpařovací technologie vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně 21.5.2021

Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval Mgr. Ing. Marku Vondrovi, Ph.D. za odborné vedení práce, za užitečné rady a cenné připomínky, kterými přispěl k vypracování této diplomové práce.

Obsah

1	Úvod.....	13
2	Odpařovací technologie	14
2.1	Typy odpařovací technologie	15
2.1.1	Odparka se splývajícím filmem.....	16
2.1.2	Cirkulační odparka	17
2.1.3	Rotorová odparka	18
2.2	Průmyslová aplikace odpařovací technologie	20
3	Testovací stanice odparek	21
3.1	Hlavní komponenty testovací stanice odparek	21
4	Návrhová činnost	23
4.1	SolidWorks	25
4.1.1	Tvorba potrubí v SolidWorks bez dodatečných doplňkových modulů.....	25
4.1.2	Tvorba potrubí využívající doplňkového modulu SolidWorks Routing.....	32
4.1.3	Algoritmus návrhu potrubí pomocí SolidWorks	37
4.1.4	Zhodnocení SolidWorks Routing.....	38
4.1.5	Metoda využitá při návrhu modelu zapojení odparek v SolidWorks	39
4.2	Smap 3D	40
4.2.1	Smap3D P&ID	40
4.2.2	Smap 3D Piping	46
4.2.3	Smap 3D Isometric	48
4.2.4	Algoritmus návrhu potrubí v Smap 3D	49
4.2.5	Zhodnocení Smap 3D.....	51
5	Zhodnocení přístupů	52
5.1	Porovnání silných a slabých stránek jednotlivých softwarových balíčků	53
5.2	Doporučený přístup	55
6	Současný stav testovací stanice odparek.....	56
7	Závěr	59
	Reference.....	60
	Seznam obrázků	62
	Seznam Příloh	64

1 Úvod

Požadavky současného průmyslu, například potravinářského, vyžadují použití odpařovací technologie při výrobě zahuštěných koncentrovaných roztoků. S tím je spojená návrhová činnost soustavy potrubí zajišťujícího správnou činnost odparek a procesu jako celku [1].

Pro návrh potrubní sítě lze využít velké množství různorodých softwarových řešení, která se na trhu nachází. Některé jsou součástí již zavedených CAD (Computer-aided design = Počítačem podporované projektování) systémů, jiné jsou vyvíjeny a distribuovány soukromými společnostmi. Typickým příkladem softwarového řešení druhého typu je Smap 3D Plant design. Ačkoliv se jedná o samostatný software, který není součástí některých nejpoužívanějších CAD systémů (konkrétně SolidWorks a SolidEdge), je dobrá kompatibilita a integrace uživatelského rozhraní zajištěna partnerskými programy. V případě kompatibility se SolidWorks se jedná o partnerství tzv. zlaté úrovně [2].

Obsahem této práce je posouzení softwaru Smap 3D při návrhu odpařovací technologie, respektive přidružené potrubní sítě. Program Smap 3D Plant design byl v práci využit při návrhové činnosti, v rámci, které vznikala technická dokumentace sítě potrubí v testovací stanici odparek v Laboratoři energeticky náročných procesů. Laboratoř je součástí NETME Centre, které slouží jako regionální výzkumné a vývojové centrum při Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně [3].

Práce je rozdělena do několika částí, které mají postupnou návaznost. V první části bude představena odpařovací technologie obecně. Podrobněji budou představeny odparky, o kterých se uvažuje, že budou umístěny v testovací stanici odparek. Následně bude představen zbytek odparkové testovací stanice. V další části bude představen SolidWorks Routing, jakožto referenční softwarový balíček pro Smap 3D Plant design. U obou softwarů bude detailněji popsána návrhová činnost při tvorbě dokumentace sestavy potrubí na konkrétním příkladu a vše bude z praktického hlediska zhodnoceno. Na závěr budou srovnány jednotlivé postupy za použití zmíněných softwarových balíčků a bude vyhodnoceno, který je vhodnější pro tvorbu dokumentace k soustavě potrubí testovací stanice odparek.

Důležitým praktickým výstupem práce je potom samotná výkresová dokumentace, která byla s využitím uvedených softwarů vytvořena a slouží jako důležitý projekční podklad při montáži potrubní sítě a sestavování odparkové zkušebny v Laboratoři energeticky náročných procesů.

2 Odpařovací technologie

Hlavním cílem odpařovací technologie je oddělení rozpouštědla z kapalné směsi, nebo suspenze. Toto oddělení je zajištěno vypařením části rozpouštědla, kde zbylé množství rozpouštědla a látky rozpuštěné tvoří hustý koncentrát. V největším množství případů je odpařovaným rozpouštědlem voda. Ve valné většině případů je výsledným produktem hustý koncentrát, a proto opařená voda ve formě páry již nemusí být dále využívána. Jedinou výjimkou je odpařování minerální vody, kde výsledným produktem je právě čistá voda bez minerálních nečistot, která je vhodná mimo jiné pro lidskou spotřebu. Operace podobné odpařování jsou destilace, sušení a krystalizace. Odpařování se od destilace liší faktem, že vznikající pára je běžně jednosložková (voda) a i v případě, že je vícesložková, není zde žádná následná snaha jednotlivé frakce od sebe oddělit. Od sušení se odpařování liší především ve zbytku po dokončení operace, kde u sušení je pevný zbytek, ale u odpařování je residuum vždy kapalné, často s vysokou viskozitou. Od krystalizace se odpařování liší opět formou výsledného produktu. U odpařování je požadovaným výsledkem hustý koncentrovaný roztok, na rozdíl od tvorby a produkce krystalů u krystalizace. Ovšem u odpařování slané vody je hranice mezi odpařovací technologií a krystalizací velmi tenká, jelikož mohou vznikat solné krystaly v saturovaném roztoku [4] [5].

Při návrhu odparky jsou posuzovány tři hlavní kritéria: přenos tepla, oddělení plynné složky od kapalné a efektivní spotřeba energie. Většina odparek se skládá ze dvou základních částí. První je část, ve které dochází k přenosu tepla, jedná se tedy o tepelný výměník. Druhá část je odpařovací komora, ve které dochází k oddělení kapalné a plynné složky směsi. Některé odpařovací zařízení mohou být v kaskádě, kde se pára vzniklá odpařením ze směsi používá jako ohrevné medium pro následující odparku [5]. Uvedená forma recyklace páry může být poměrně žádoucí, jelikož je efektivita odparek posuzována na základě poměru: kilogram odpařeného rozpouštědla ku kilogramu použité výhřevné páry [6]. Tento poměr lze také zlepšit snížením tlaku v odparce pro snížení bodu varu rozpouštědla. Toto snížení teploty celého procesu také snižuje riziko poškození na teplo citlivého materiálu, nebo u jedlých olejů eliminuje riziko oxidace, která by mohla výsledný produkt znehodnotit. Využití vakua je poměrně hojné v potravinářském průmyslu obecně [1]. Jestliže není vzniklá pára dále využívána, poté většinou putuje do kondenzátoru [7].

Při praktické realizaci odpařovací technologie je také nutné zohlednit typ a vlastnosti kapalné směsi, která bude zahušťována, což může ovlivnit nejen tvar, ale i typ odparky jako takové. Mezi nejdůležitější vlastnosti směsi, na které je nutné zohlednit při návrhu, patří [4] [5]:

- Koncentrace, hustota a viskozita – vstříkovaný roztok bývá běžně poměrně řídký s fyzikálními vlastnostmi podobnými vodě. Postupným odpařováním dochází k navyšování koncentrace, tedy i k navýšení hustoty a viskozity. K tomuto nárůstu dochází do bodu, než se stane kapalný roztok přesyceným, nebo vysoká viskozita znemožní efektivní přenos tepla.
- Pěnění – u některých kapalných směsí může při odpařování docházet k pěnění. Zmíněné pěnění může zapříčinit vznos zahuštěné kapaliny do vývodu pro opařeného rozpouštědla.

- Zanášení – na zanášení má vliv vícero faktorů, např. jestli se vstříkovaným roztokem vstupují pevné částice, jestli dochází k chemické reakci nebo krystalizaci v těle odparky
- Koroze – v odparkách mohou být zpracovávány solné roztoky o vysokých finálních koncentracích, které urychlují korozi kovových částí těla odparky.

2.1 Typy odpařovací technologie

Odparky lze dělit podle různých kritérií. Poměrně významným rozdělením je podle způsobu přenosu tepelné energie. Toto konkrétní dělení má následující kategorie [5] [6]:

- vytápěcí médium je odděleno od odpařující se kapaliny za pomoci trubkovitých ploch,
- vytápěcí médium je odděleno pomocí dvojité stěny, nebo plochých desek,
- vytápěcí médium je v přímém kontaktu s odpařující se látkou,
- vytápění je zajištěno působením slunečního záření.

Nejhojněji využívaný je právě první typ, tedy odparky s trubkovým tvarem výhřevných ploch. Průchod odpařované kapaliny odparkou může probíhat přirozeně, nebo také pomocí mechanických prvků např. čerpadla nebo lopatek hnaných motorem [5]. Dále lze odpařovací zařízení rozdělit podle způsobu provozu celého systému [4] [5]:

- Vsádkové odpařovací zařízení, kde jednorázové nalití směsi, která bude zahuštěna, odpařování rozpouštědla a získání výsledného koncentráту jsou po sobě jdoucí kroky, které dohromady tvoří jeden procesní cyklus. Tento typ je hojně využíván v potravinářském průmyslu.
- Kontinuální odpařovací zařízení, kde vstupní kapalina je neustále přidávána a výstupní koncentrát neustále odtéká. Vstupní a výstupní směs mají během celého procesu konstantní koncentraci.
- Semi-kontinuální odpařovací zařízení je nejčastěji používaný typ. Vstupní kapalina je neustále dodávána pro udržení konstantního množství kapaliny. Vstupní kapalina je čerpána ze zásobníku do odparky, ze které se pak zahuštěný koncentrát vrací zpět do zásobníku. Proces probíhá do momentu, než je dosaženo požadované koncentrace v zásobníku a je vyměněn za novou nádobu se směsí.

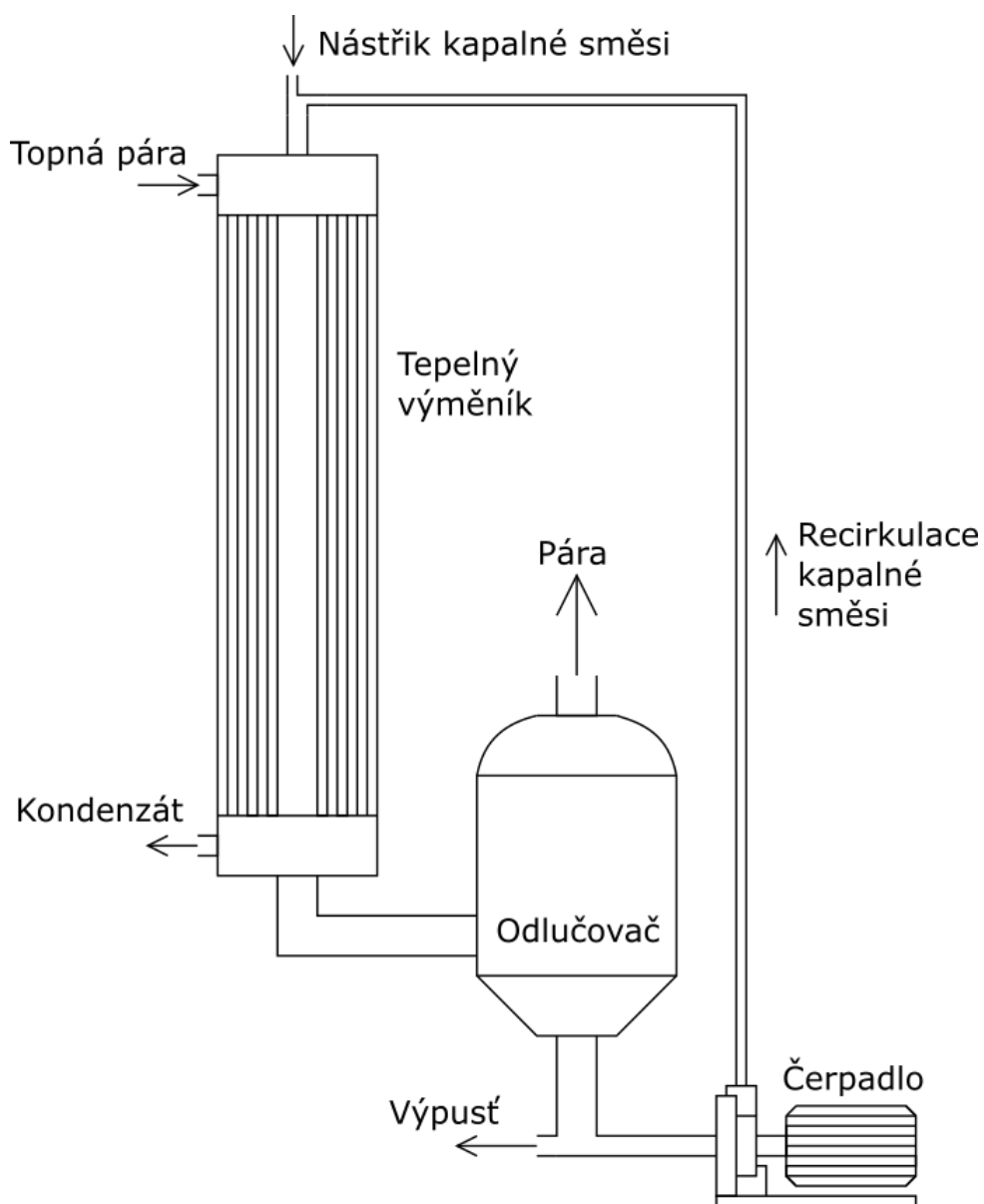
Dále lze odparky rozdělit podle konstrukce [4] [5] [6]:

- Odparka s vertikálně loženými dlouhými trubkami, mezi které spadají odparky se splývavým filmem a odparka s vzestupným filmem.
- Odparka s vertikálně loženými krátkými trubkami.
- Odparka s nucenou cirkulací, tedy cirkulační odparka.
- Odparka s horizontálně loženými trubkami.
- Ostatní typy odparek, mezi které spadá rotorová odparka, desková odparka, nebo odparka bez ohřevných ploch.

Pro tuto práci jsou relevantní především odparka se splývavým filmem, odparka cirkulační a odparka rotorová.

2.1.1 Odparka se splývajícím filmem

Zahušťování směsí, které jsou vysoce citlivé na teplotu, což je velké množství látek v potravinářském průmyslu, vyžadují, aby kontakt s ohřívanou plochou byl omezen na minimum [8]. Tohoto je dosaženo v odparkách se splývajícím filmem, kde kapalina je vstřikována ve vrchní části odpařovacího zařízení a postupně zařízením stéká dolů po stěnách ohřívaných trubek ve formě filmu. K oddělení páry od koncentráту dochází většinou ve spodní části zařízení. Je nutné však podotknout, že některé odparky tohoto typu umožňují průchod páry směrem nahoru, tedy proti směru proudění zahušťované kapaliny. Odparka se splývajícím filmem je tvořena z velmi dlouhého vertikálně umístěného trubkového výměníku s napojeným oddělovačem páry od kapaliny ve spodní části zařízení a distributorem nástřiku v části horní [4] [5] [6].



Obrázek 1 Schéma odparky se splývajícím filmem, založeno na schéma převzatém z [4]

Hlavním problémem tohoto odpařovacího zařízení je nutnost, aby byl film neustále rovnoměrně distribuován po celé ploše trubky. Tohoto lze docílit distributorem nástřiku do

jednotlivých individuálních trubek ve vrchní části zařízení. Hojně využívanou alternativou je recirkulace kapalné směsi zpět do nástřiku pomocí čerpadla. Tohoto mechanismu lze využít pouze pokud recirkulace nepoškodí kapalnou směs. Pro dobrý přenos tepla by mělo Reynoldsovo číslo přesáhnout hodnotu 2000 na všech bodech trubky. S probíhajícím odpařováním se snižuje množství stékající kapaliny, což při velkém snížení množství kapaliny vede k tvorbě suchých míst ve spodní části trubky. Tento jev limituje maximální koncentraci výsledné zahuštěné směsi [5] [6].

Mezi výhody odparky se splývajícím filmem patří [6] [9]:

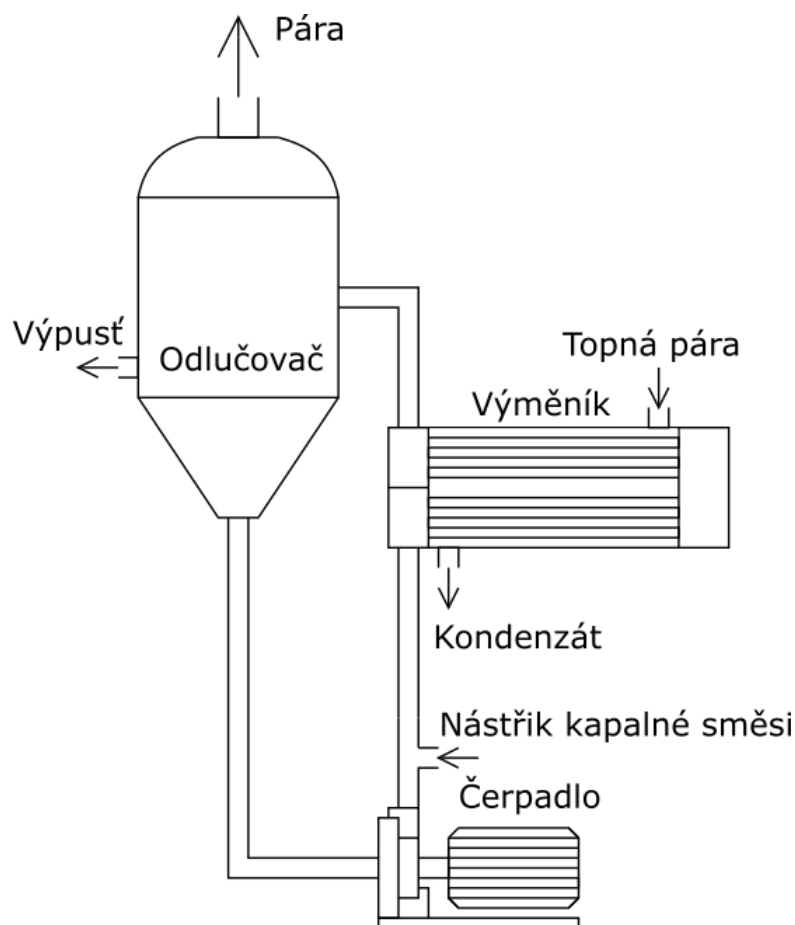
- nízká cena,
- velká teplosměnná plocha,
- instalace zabírá malou plochu na podlaze
- vhodné pro pěnicí, korozivní, čiré a viskózní kapalnou směs (max. 0,1 až 0,5 Pa·s)
- odparku lze provozovat při relativně nízkých teplotách.

Mezi nevýhody odparky se splývajícím filmem patří [6]:

- velká výška, která může působit problémy v halách s nižšími stropy,
- dosažení rovnoměrné distribuce splývajícího filmu může být problematická, což lze zlepšit recirkulací nástřiku,
- nevhodné pro solné roztoky a roztoky obsahující větší pevné částice.

2.1.2 Cirkulační odparka

V odparkách s nucenou cirkulací je cirkulace dosaženo pomocí čerpadla, které neustále čerpá kapalnou směs přes ohřevný element. Při tomto čerpání je množství odpařené páry relativně malé při jednotlivých průchodech kapalnou směsí systémem. Tento fakt činí cirkulační odparky vhodné pro širokou škálu použití např. pro krystalizující směsi, avšak ne všechny způsoby použití jsou výhodné ekonomicky. Proto je nutné udělat bilanci provozu čerpadla, jehož provoz je většinou drahý. Míra rychlosti kapaliny v odparce je limitována pouze výkonem čerpadla. Ačkoliv vyšší rychlost kapaliny zlepšuje přenos tepla, zároveň urychlují erozi a následnou korozi materiálu, což nevyhnutelně vede ke zvýšení ceny za údržbu. Konstrukce cirkulační odparky je podobná jako u odparky se splývajícím filmem s tím rozdílem, že odlučovač je v tomto případě umístěn nahoře [5] [6].



Obrázek 2 Schéma cirkulační odparky, založeno na schéma převzatém z [4]

Rychlosti v potrubí se pohybují od 1,2 m/s v odparkách určených pro solné roztoky, které mohou obsahovat 5 a více procent pevných částic, až po 3 m/s pro roztoky obsahující pouze malé množství pevných částic. Nejvyšších hodnot koeficientů přenosu tepla je dosaženo, pokud je umožněno odpařování v trubkách výměníku. Tento jev může vést k rychlému zanášení trubek, které je typické pro slané roztoky [6].

Výhody cirkulační odparky [6]:

- možnost použití pro široké spektrum kapalných směsí,
- vysoké hodnoty přenosu tepla,
- vhodné pro kapalné směsi obsahující pevné částice, korozivní a viskózní směsi.

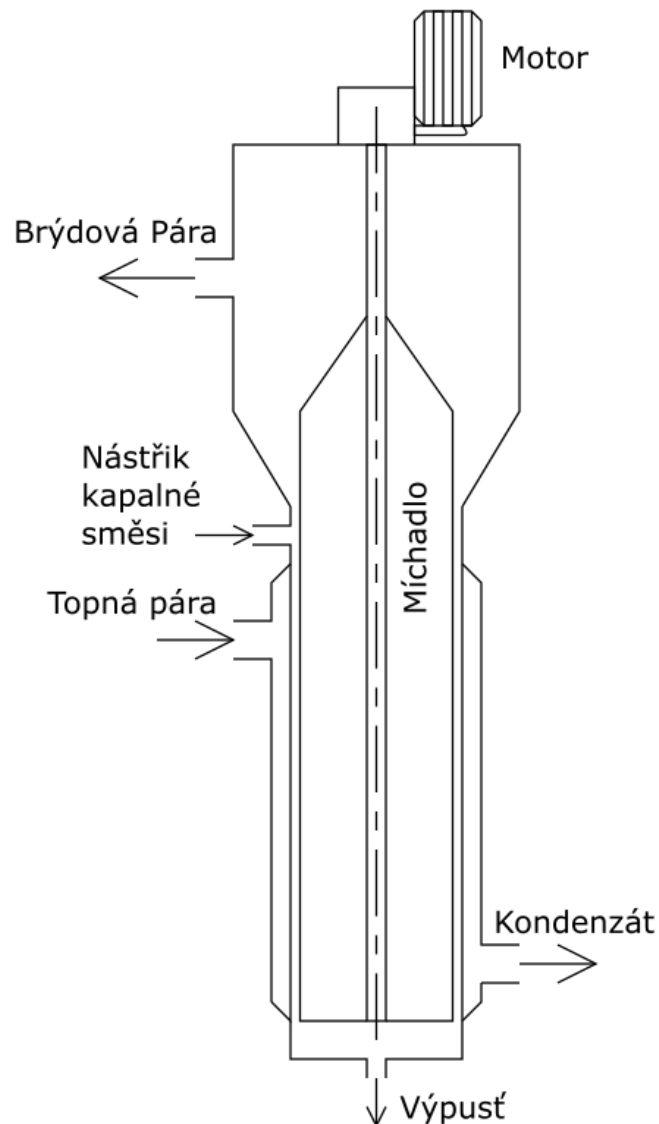
Nevýhody cirkulační odparky [6]:

- vysoká provozní cena a náklady na údržbu,
- poměrně malé množství odpařené kapaliny při jedné cirkulaci může způsobit delší dobu trvání celého procesu,
- koroze způsobená vyššími rychlostmi.

2.1.3 Rotorová odparka

Pro zlepšený přenos tepla mezi topnou párou a vařící kapalnou směsí je v rotorové odparce nainstalované míchadlo. Principiálně se jedná o odparku se splývajícím filmem, která má

jednu hlavní rozměrnou trubku uprostřed. Po povrchu této trubky je rovnoměrně rozprostírán film pomocí lopatek míchadla poháněného externím motorem, což činí tento typ odparky velice účinný pro vysoce viskózní kapalné směsi. Lopatky jsou umístěny ve velké blízkosti stěny trubky anebo přímo klouzají po tenkém filmu. Z tohoto důvodu má rotorová odparka vysoké nároky na přesnost výroby, a tedy i vysoké náklady. Podle tvaru a umístění lopatek existuje velké množství typů. Müllerova odparka se vyznačuje rovnými lopatkami, které rotují ve stálé vzdálenosti od stěny odparky, nebo mohou být lopatky dotlačeny ke stěně za pomoci odstředivé síly, jak je to v případě typu Sambay [4] [6] [9].



Obrázek 3 Schéma rotorové Müllerovy odparky, založeno na schématu převzatém z [9]

Výhody rotorové odparky [4] [6] [9]:

- vhodné pro nehomogenní a vysoce viskózní kapalné směsi (max až 50 Pa·s),
- možnost použít velkou tepelnou diferenci,
- jelikož kapalný roztok setrvává na teplosměnných plochách pouze krátce, lze použít roztoky velmi citlivé na teplotu.

Nevýhody rotorové odparky [4] [6]:

- nevhodné pro kapalné směsi obsahující velké pevné částice, které by mohly poškodit pohyblivé lopatky,
- vysoké pořizovací náklady,
- interní pohyblivé části, které zvyšují nároky na pravidelnou údržbu,
- menší kapacita oproti cirkulační odparce, nebo odparce se splývajícím filmem.
-

2.2 Průmyslová aplikace odpařovací technologie

Odparky jsou poměrně hojně využívány v potravinářském průmyslu jako jeden z mnoha kroků při zpracování různých kapalných potravin. V tomto průmyslovém odvětví je značné množství zpracovaných látek citlivých na teplo, proto je využito ve valné většině případů vakuového odpařování. Výsledným produktem může být buď tekutá potravina ve výrazně zahuštěné formě, nebo nadále putuje na úplné vysušení. Případné dodatečné sušení probíhá často v sprejové sušárně. Tento proces je typický například pro mlékárenství, kde je mléko nejprve pasterizováno, poté směřuje do odparky se splývajícím filmem, kde je zahuštěno. Toto zahuštěné kondenzované mléko může být zabaleno a distribuováno jako finální produkt, nebo je vysušeno ve sprejové sušárně a je distribuováno a následně prodáváno ve formě prášku snadno rozpustného ve vodě. Mezi další potraviny, které se zahušťují odpařováním patří: rajské protlaky, ovocné džusy a sirupy, nebo také ovocné marmelády [1] [10].

Dalším významným použitím odparek je zahušťování a následné zpracování odpadních vod. Z tohoto procesu získaná čistá voda může být pak využita v jiných průmyslových odvětvích, což je žádoucí, jelikož některé odpadní vody jsou až z 99 % voda. Následně zahuštěný kal je lépe skladovatelný [11] [12].

Odparek lze také využít v medicíně, kde jsou využívány k přípravě laboratorních vzorků pro analýzu léčiv v tělních tekutinách. Jelikož se léčiva v tělních tekutinách nacházejí ve velmi malých koncentracích a jsou ovlivňovány zbytkem kapaliny, je potřebné nejprve aplikovat organické rozpouštědlo jako je methanol. Toto rozpouštědlo je následně nutné před měřením odpařit, aby nedošlo ke znehodnocení měření [13].

Nutné je také zmínit využití odparek při odsolování mořské vody, kde hlavním produktem není zahuštěný roztok, ale odpařované rozpouštědlo – tedy čistá voda. Tento způsob získávání čisté vody je preferovaný oproti ostatním metodám především díky nízkým energetickým nárokům, které vede k nízkým provozním nákladům [5] [14].

3 Testovací stanice odparek

Nově vznikající zkušebna v laboratoři energeticky náročných procesů je zaměřena na odpařování, především za účelem zahušťování průmyslových odpadních vod. „*Laboratoř energeticky náročných procesů je součástí Centra nových technologií pro strojírenství (NETME Centre), které je koncipováno jako regionální výzkumné a vývojové centrum, založené na kvalitní vědecké a výzkumné základně Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně* [3].“ Zkušebna disponuje moderní měřicí technikou s dálkovým sběrem dat [3]. Její vybavení se pružně doplňuje o zařízení potřebné pro řešení a realizaci aktuálních projektů.

Mezi hlavní zkoumaná zařízení v této laboratorní zkušebně patří odparky. V současné době je v testovací stanici odparek usazena odparka se splývavým filmem a cirkulační odparka. Ke zprovoznění odparek je nutné jejich propojení s přidruženými zařízeními a aparáty (výměníky, čerpadla, vývěvy atd.) prostřednictvím vhodně navržené potrubní sítě. Součástí této práce je tvorba dokumentace pro trasy potrubí s využitím Smap 3D Plant design, které zajistí správné fungování testovací stanice. Tato kapitola představuje plánované uspořádání odparkové zkušebny, jež bylo výchozím podkladem pro návrh potrubní sítě.

3.1 Hlavní komponenty testovací stanice odparek

Jak je uvedeno výše, hlavními komponenty zkušebny jsou dvě odparky. Odparka se splývavým filmem a odparka cirkulační. Původně bylo zvažováno rozšířit testovací stanici o odparku rotorovou, tento záměr byl z vícero důvodů zavrhnut. Hlavními důvody jsou velká pořizovací a provozní cena rotorové odparky. Odparka se splývavým filmem se skládá z 5,5 metru vysokého výměníku a odlučovací komory umístěné u spodní části výměníku, která disponuje tangenciálním napojením. Cirkulační odparka se skládá ze 3 metrů vysokého výměníku, odlučovací komory s tangenciálním napojením v horní části celé odparky a cirkulačního čerpadla, které zajistí cirkulaci kapalně směsi odparkou. Je zde také možné cirkulační čerpadlo vyřadit a operovat odparku na principu přirozené cirkulace. K oběma odparkám jsou ve spodní části výměníků napojeny sběrné nádoby kondenzátu topné páry.

Dalšími hlavními komponenty zkušebny jsou hlavní a vedlejší kondenzátor. Hlavní kondenzátor slouží ke zkapalnění destilátu – brýdové páry, která vzniká v odlučovačích jednotlivých odparek. Celá zkušebna je koncipována způsobem, že v provozu bude vždy pouze jedna odparka, proto je kondenzátor destilátu pokaždé napojen pouze na jeden odlučovač. Ve spodní části kondenzátoru se nachází napojení na hlavní vývěvu tvořící vakuum v celé sestavě. Před hlavní vývěvou se nachází vymrazovací nádoba, jejíž funkcí je kondenzace zbylé vody, která by mohla setrvat v plynném skupenství po průchodu hlavním kondenzátorem, a tedy ochrana hlavní vývěvy proti poškození. K hlavnímu kondenzátoru jsou ve spodní části také napojeny odměrné sběrné nádoby destilátu. Vedlejší kondenzátor a na něj napojená pomocná vývěva slouží k dodatečnému odplynění výměníkových částí odparek. Na tento systém pomocné vývěvy a kondenzátoru jsou k odplynění také napojeny sběrné nádoby kondenzátu páry a odběrné nádoby destilátu.

Laboratoř dále disponuje čerpadlem zajišťujícím možnou recirkulaci nástřiku v odparce se splývavým filmem, rozvaděčem nástřiku a čerpadlem zajišťujícím chod zahuštěného koncentrátu na váhu.

The diagram illustrates the complex piping and equipment of a wastewater treatment plant. Key components and flows include:

- Inputs:** 'Chladicí voda' (Cooling water) and 'Topná pára' (Heating steam) at the top left.
- Control:** 'Rozvaděč nástřiku' (Injection distributor) box.
- Process Units:**
 - 'Odparka se splyňujícím filmem' (Evaporator with film aeration)
 - 'Kondenzátor destilátu' (Distillate condenser)
 - 'Kondenzátor odpalynu' (Fuel gas condenser)
 - 'Vymražovač' (Defroster)
 - 'Hlavní vývěva' (Main blower)
 - 'Vývěva odpalynu' (Fuel gas blower)
 - 'Čerpadlo na recirkulaci nástřiku' (Recirculation pump)
 - 'Čerpadlo produktu' (Product pump)
- Outputs and Recirculation:**
 - 'Kondenzát odpalynu' (Fuel gas condensate)
 - 'Cirkulační čerpadlo' (Circulation pump)
 - 'Čerpadlo na recirkulaci nástřiku' (Recirculation pump)
 - 'Čerpadlo produktu' (Product pump)
 - 'Voda odpad' (Wastewater) at the bottom left.
 - 'Konzentrát na váhu' (Concentrate by weight) at the bottom left.

Ve schématu jsou jasně viditelná následující hlavní potrubí:

- 22

4 Návrhová činnost

Při návrhové činnosti potrubí je nutné zohlednit různé zásady, které vedou k nejlepšímu technickému a ekonomickému výsledku. Mezi nejvýznamnější zásady patří [15]:

- Hospodárnost potrubí včetně provozu a obsluhy, která je dána především snahou na minimalizaci investičních a provozních nákladů. Hlavním cílem je návratnost investice před překročením životnosti zařízení.
- Uspořádání umožňující snadnou montáž, provoz a údržbu, kterého lze docílit umístěním potrubí v hlavních osách (x, y, z). Při umisťování armatur je vhodné zohlednit dobrý, přehledný a pohodlný přístup pro obsluhu.
- Vysoká provozní jistota potrubních propojení znamená, že potrubí je konstruováno tak, aby byl při případné poruše zajištěn provoz všech zařízení. U nižšího stupně provozní jistoty lze některé spotřebiče a části potrubí odstavit.
- Nutnost zohlednit dilatace, izolace a namáhání provozními podmínkami potrubí, které může zapříčinit ztrátu stability konstrukce.

Jako předstupeň návrhové činnosti potrubí slouží tvorba proudového technologického schématu (PFD – Process Flow Diagram). Toto schéma je grafickým znázorněním technologického postupu a obsahuje zařízení a proudy které je spojují. Součástí schématu jsou hmotnostní a tepelné bilance jednotlivých zařízení a procesu jako celku, provedené při uplatnění zákonů zachování hmoty a energie. Schématické značky pro kreslení zařízení určuje evropská norma ČSN EN ISO 10628 [16] [17].

Po sestavení proudového technologického schématu, lze vypracovat strojně technologické schéma (P&ID – Piping & instrumentation Diagram). P&ID schéma obsahuje všechna zařízení, jejich vstupní a výstupní hrdla (příruby), všechna potrubí včetně armatur, měřící čidla a regulační orgány, případně pohony strojů. Schématické značky jednotlivých prvků jsou opět dány evropskou normou ČSN EN ISO 10628. Po vypracování základního P&ID schématu je nutné provést návrhové výpočty, které zohledňují volbu materiálu potrubí nebo předpokládané provozní podmínky a stavy (včetně náběhu, nebo nouzové odstávky). Součástí těchto výpočtů je také hydraulický návrh potrubí, který zahrnuje dimenzování potrubí a čerpadel, s ohledem na výpočet tlakové ztráty [17].

Pro komplexnější sestavy potrubí je vhodné vypracovat izometrické výkresy potrubí, buď za použití izometrického milimetrového papíru, nebo CAD softwaru. Pro vyobrazení výšky, šířky a hloubky potrubní sítě, musí být poslední dva zmíněné směry zaznačeny na osách s odchylkou 30° od horizontální osy. Izometrický výkres obsahuje potrubí zaznačené jako tenké kótované čáry a schématické značky armatur (příruby, ventily atd.). Alternativou k izometrickému návrhu je 3D návrh pomocí CAD softwaru. Vytvořený 3D model je možné následně interpretovat izometrickým výkresem [16] [17].

Pro tvorbu 3D modelů a následné výkresové dokumentace soustavy potrubí je v současné chvíli na trhu nabízená široká paleta programů. Mezi typické příklady náleží Autodesk AutoCAD Plant 3D, nebo SolidWorks s jeho nadstavbou Routing [18] [19]. K této nadstavbě jako alternativa figuruje Smap 3D Plant design. Cílem práce je posoudit vhodnost použití Smap 3D Plant design, který je zároveň plně integrován do SolidWorks konkurujícímu Solid Edge [20].

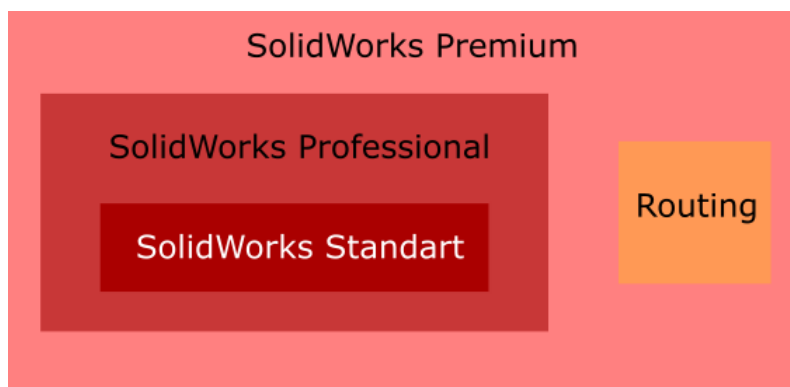
Prvotní návrh zapojení potrubí testovací stanice odparek byl vytvořen pomocí SolidWorks Routing ze dvou důvodů. Základním důvodem bylo vytvoření referenčního modelu pro srovnání výsledné dokumentace potrubí a návrhového procesu s ekvivalenty v Smap 3D Plant design. Druhotným důvodem byla nedostupnost licence Smap 3D Plant design v počáteční fázi návrhu potrubí, kde bylo nutné vytvořit referenční modely potrubí pro svářečské práce na testovací stanici odparek. Teprve sekundární upravený a upřesněný návrh zapojení byl vytvořen pomocí Smap 3D Piping a následně zdokumentován pomocí Smap 3D Isometric.

Před začátkem návrhové činnosti potrubí bylo nutné převzatý 3D model testovací stanice odparek zaktualizovat o změny provedené při instalaci v laboratoři. Především bylo potřebné opravit umístění některých armatur na hlavním a vedlejším kondenzátoru. Zároveň bylo vhodné přizpůsobit výškové umístění jednotlivých aparatur v 3D modelu, po změření přesnějších hodnot pomocí laserového měřiče v laboratoři. Taktéž bylo nutné upravit model nosné konstrukce o dodatečné ocelové nosníky, aby 3D model odpovídal reálnému stavu laboratoře.

V následujících podkapitolách je popsána krok po kroku návrhová činnost tvorby potrubí prvně v SolidWorks Routing a následně v Smap 3D Piping. Jsou zde také zvýrazněny silné a slabé stránky, pro možné srovnání v závěrečné části práce.

4.1 SolidWorks

Software SolidWorks je vyvíjený Francouzskou společností Dassault Systèmes SolidWorks. Jedná se na českém trhu o nejhojněji používaný 3D CAD, čehož je částečně dosaženo díky plné lokalizaci do českého jazyka [21]. Pro tuto práci je relevantní především díky různým možnostem tvorby modelů potrubních sítí a následné výkresové dokumentace. Mezi první z hlavních možností patří tvorba modelů pomocí nativních funkcí základní licence SolidWorks Standart. Alternativou je doplňkový modul SolidWorks Routing, který je součástí SolidWorks Premium a celý proces se díky tomuto doplňkovému modulu automatizuje.



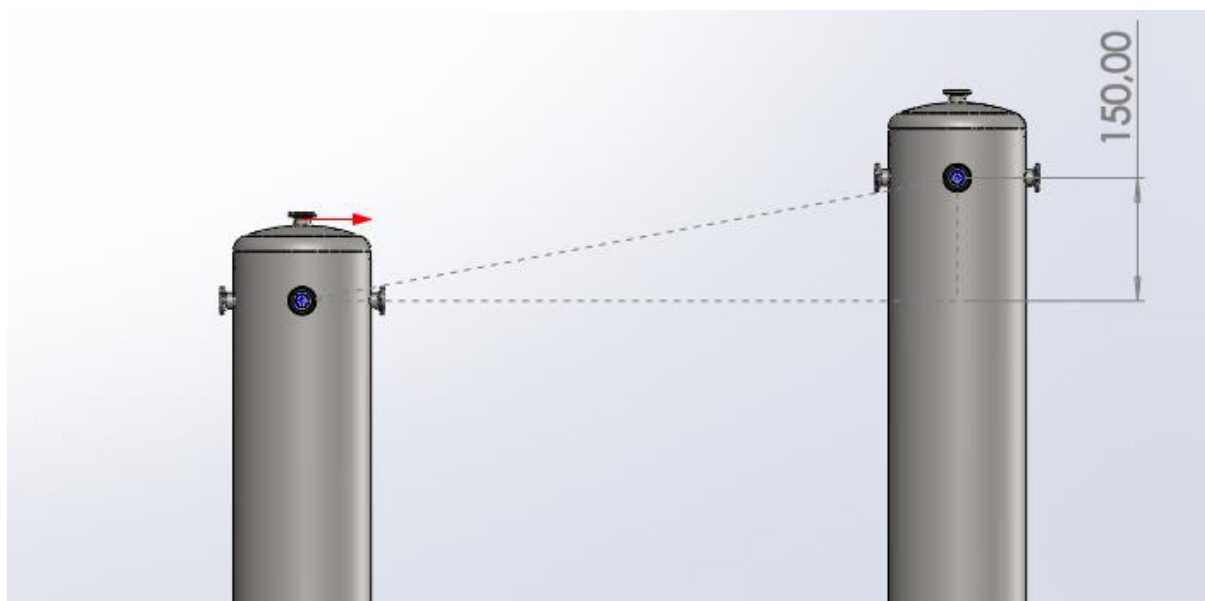
Obrázek 5 Struktura SolidWorks Premium

Tyto různé postupy jsou shrnuty do jednoduchého diagramu a následně jsou zhodnoceny silné a slabé stránky doplňku Routing. SolidWorks Routing, jelikož má stejný účel jako Smap 3D Plant design, tvoří možnost dobrého srovnání postupu tvorby potrubí k lepšímu posouzení Smap 3D Plant Design.

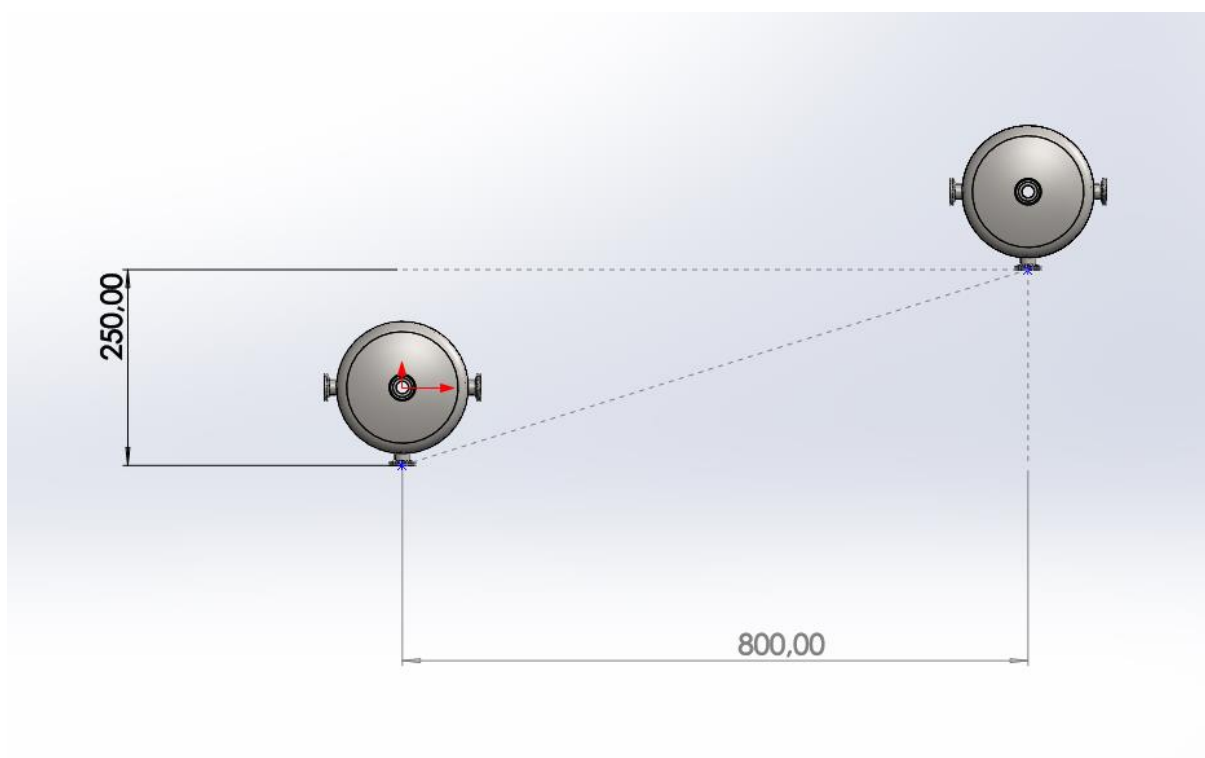
4.1.1 Tvorba potrubí v SolidWorks bez dodatečných doplňkových modulů

Při tvorbě potrubní dokumentace lze k problému přistoupit vícero způsoby. První způsob modelování potrubí, který je nejméně elegantní, ale nevyžaduje žádné doplňkové moduly, je pomocí funkce *Tažení po křivce*. Pokud nastal ideální stav a jsou známy veškeré rozměry a vzdálenosti, lze tímto způsobem trubku předpřipravit jako samostatnou součást mimo sestavu a poté ji jen do finální sestavy správně umístit. Je nutné ovšem poznamenat, že tato metoda má jednu zásadní nevýhodu – větvené potrubí jsou pro ni velice problematické, jelikož funkce *tažení po křivce* dokáže táhnout připravený profil pouze po jednoduché otevřené nebo uzavřené křivce bez větvení. Tento nedostatek lze obejít rozdělením potrubí na více dílů, kde T-kusy, potrubní části, případně příruby a jiné armatury budou jako samostatné díly zkompletované v jedné sestavě tvořící dané potrubí. Proto je u této metody důležité mít již před začátkem modelování dobře promyšlený tvar potrubí.

Postup tvorby potrubí Tažením po křivce bude demonstrováno na následujícím příkladu se dvěma nádobami zobrazené na následujících dvou obrázcích.



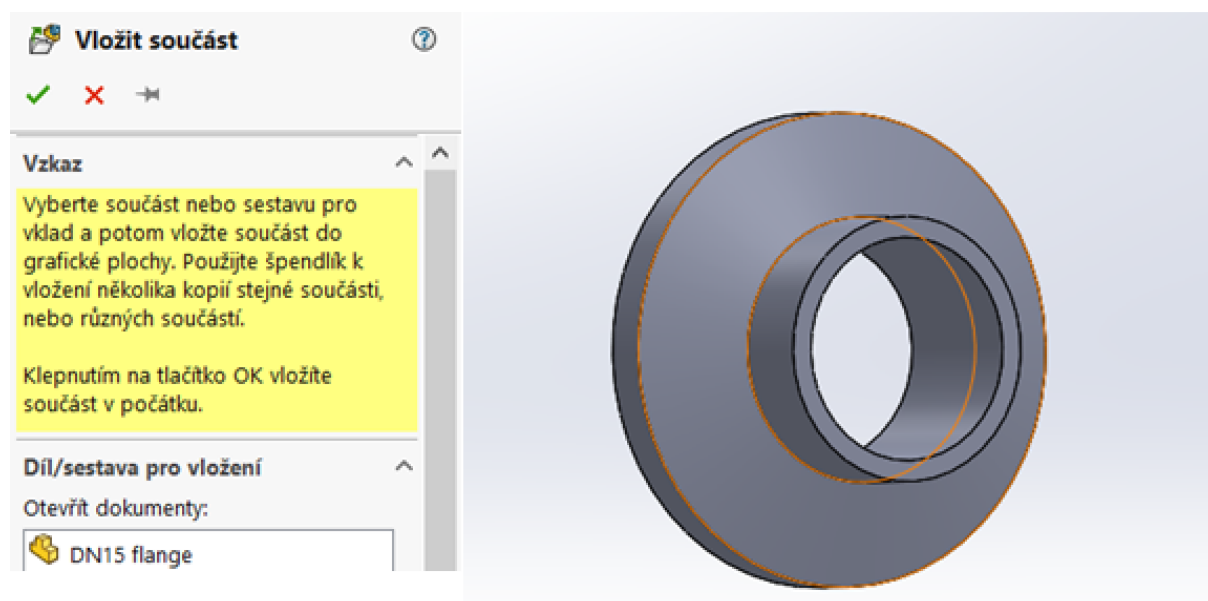
Obrázek 6 Příklad s nádobami, pohled z boku



Obrázek 7 Příklad s nádobami, pohled ze shora

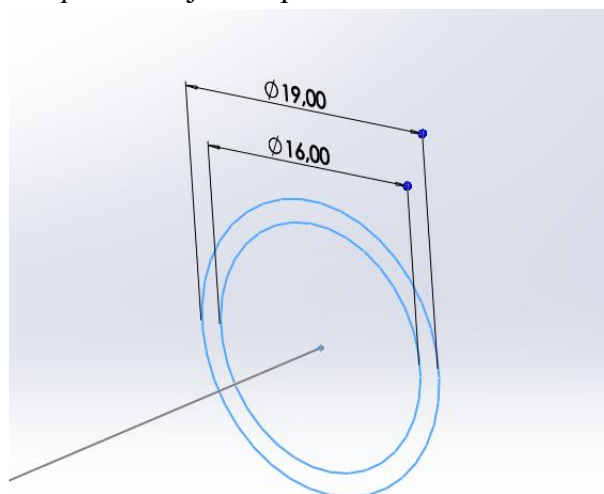
Prvním krokem je zjištění vzdáleností dvou bodů od sebe, které je potřeba spojit potrubím a zvolení jmenovité světlosti potrubí, které bude použito (v tomto případě DN15 dle DIN).

Druhým krokem je připravení si sestavy, která bude tvořit finální potrubí, jako její základ lze použít jednu z přírub.



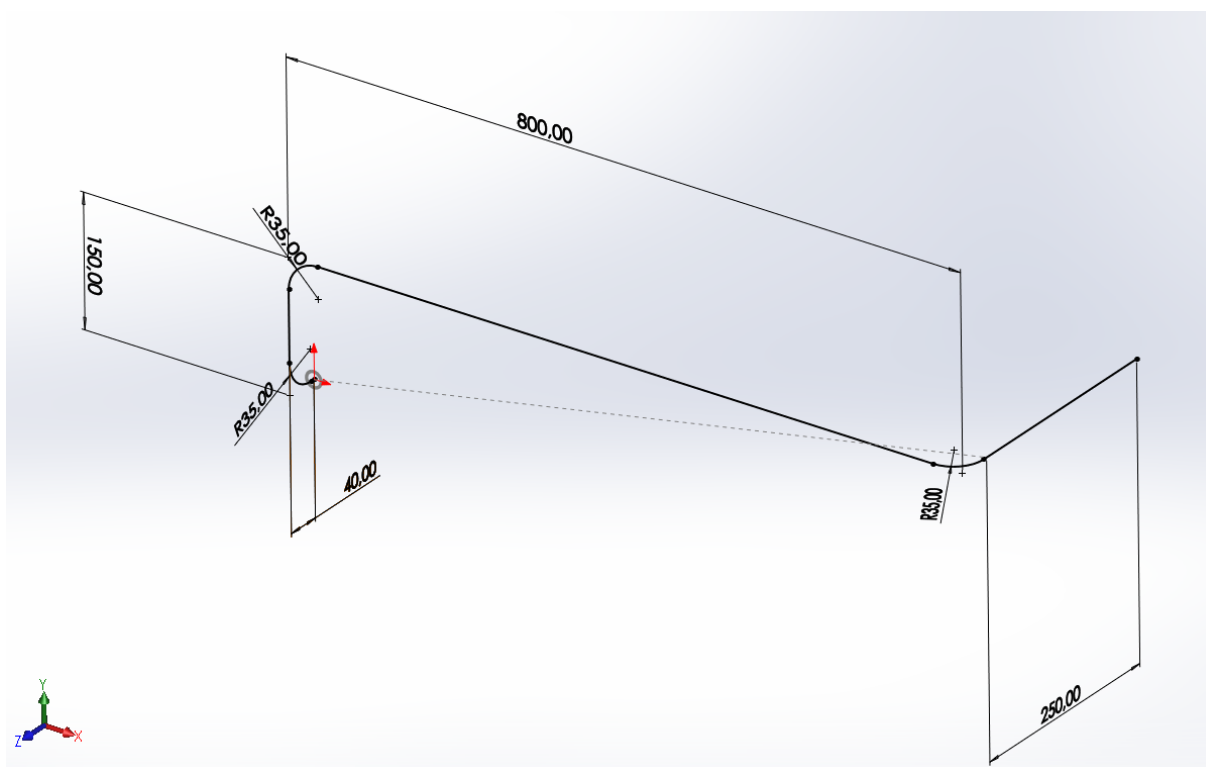
Obrázek 8 Vytvoření nové sestavy utvářející finální potrubí

Třetím krokem je konstrukce potrubní části jako takové. Na tento krok je potřeba vytvořit nový díl a načrtnout dvě skicy. První 2D skica bude znázorňovat průřez potrubí a druhá 3D skica bude určovat trasu jako takovou, přičemž je vhodné mít počátek této skicy ve středu skicy první, která udává průřez. Pokud vstup a výstup potrubí nejsou orientovány ve stejné ose, je potřeba do rozměru potrubní trasy zahrnout také tloušťku přírub. Při použití metody s využitím funkce *Tažení po křivce* je také potřeba manuálně určit zaoblení v rozích – tedy

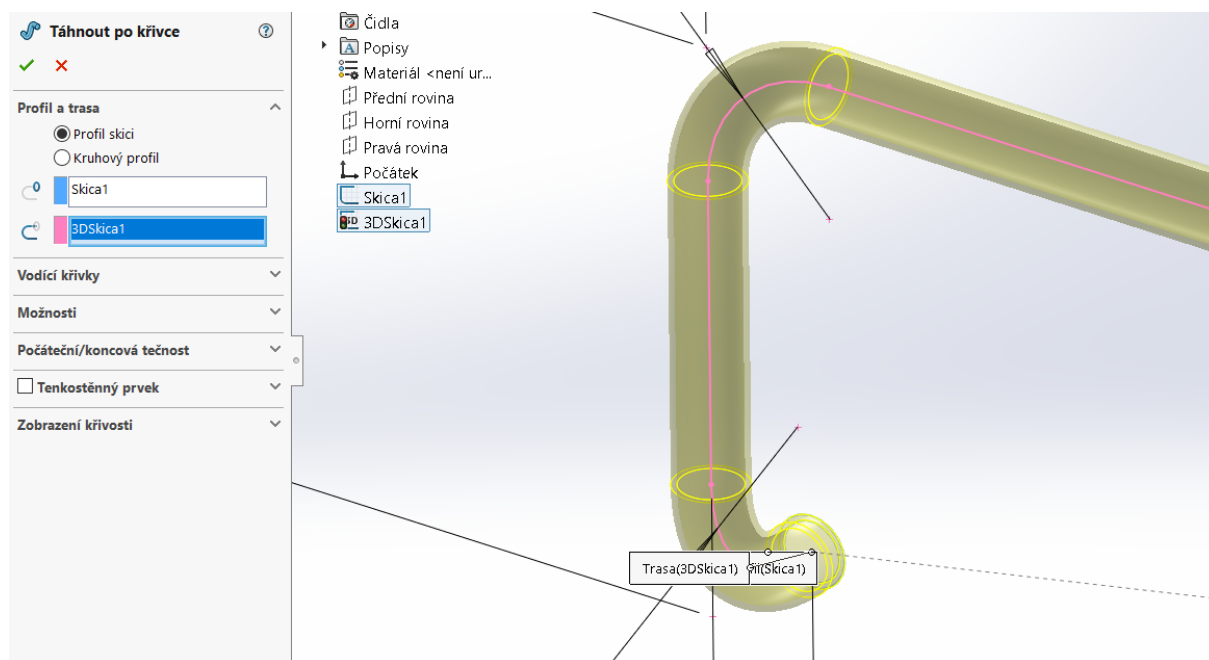


kolena potrubí. Jakmile jsou obě skicy zdefinovány, lze použít funkci táhnout po křivce a trubka bude vymodelována.

Obrázek 9 2D skica znázorňující průřez trubky

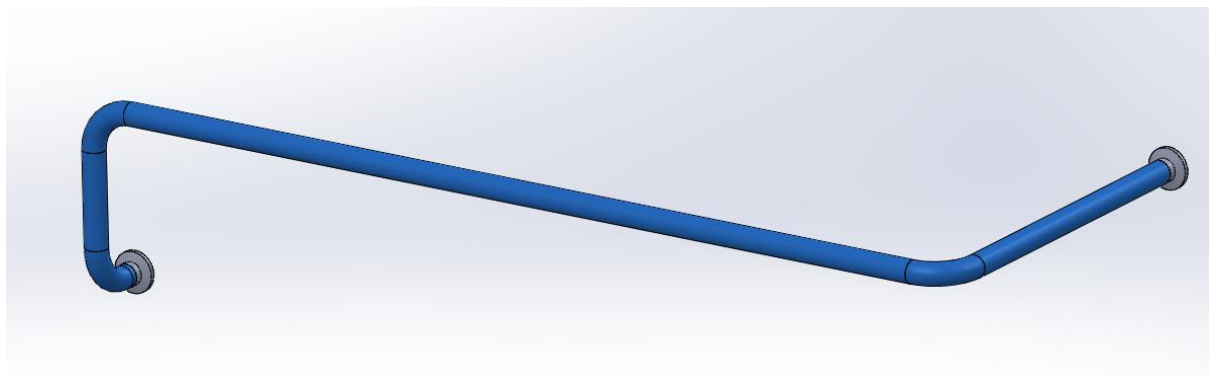


Obrázek 10 3D skica znázorňující trasu trubky



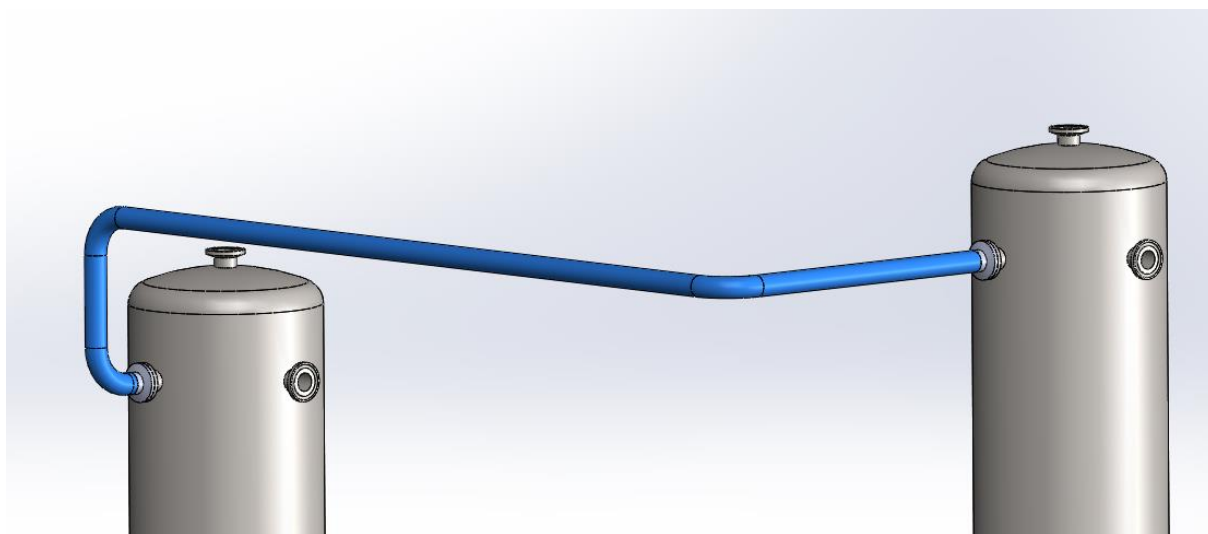
Obrázek 11 Ukázka funkce Táhnout po křivce, která vytvoří model potrubí

Ve čtvrtém kroku se vloží součást trubky do předpřipravené sestavy s přírubou, zavazbí se na přírubu a na druhý konec se přidá příruha druhá.

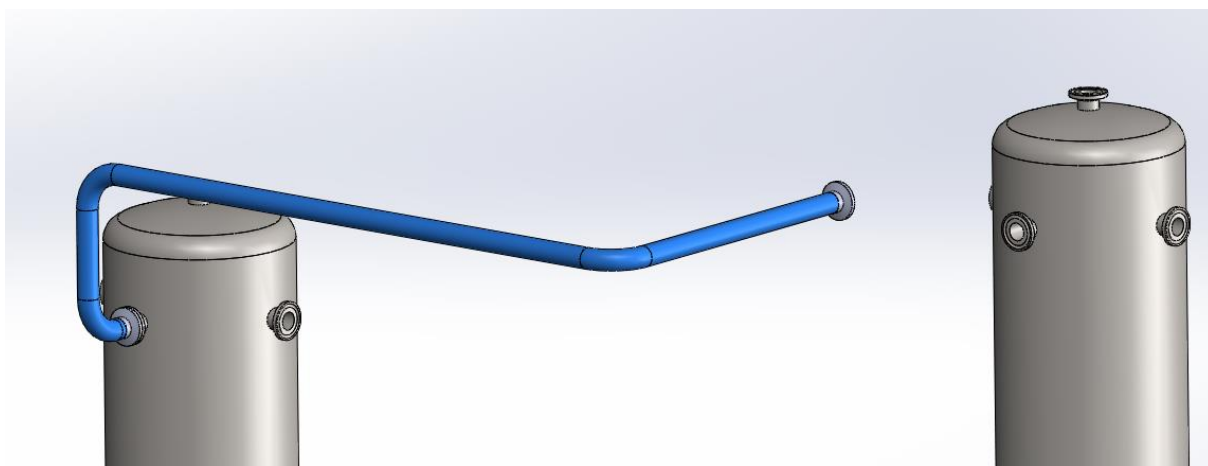


Obrázek 12 Výsledná sestava potrubí

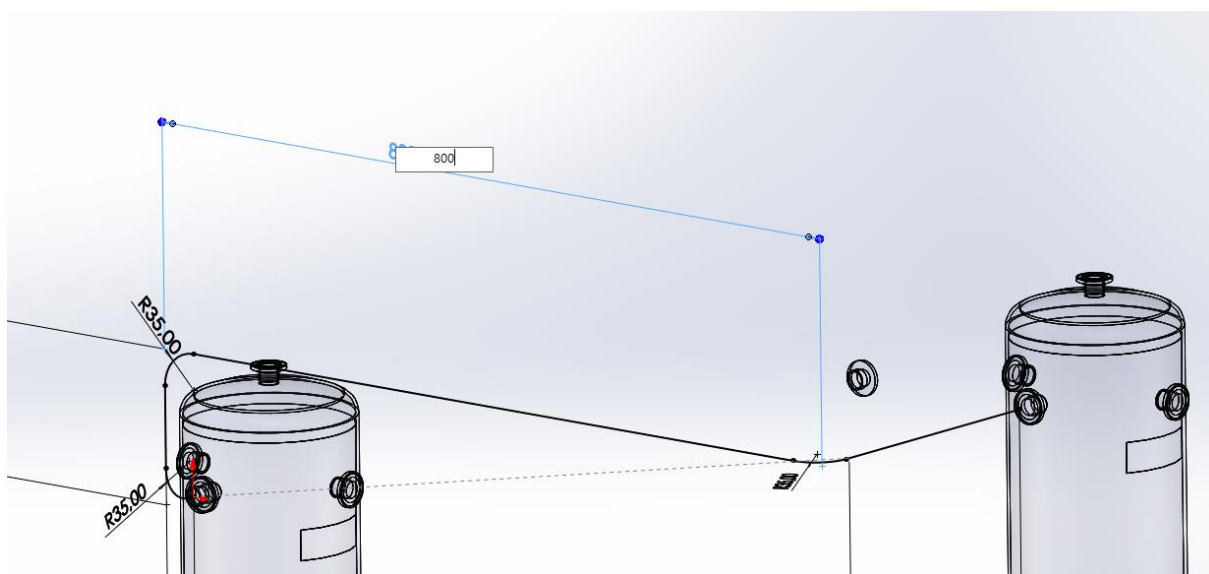
V pátém kroku zbývá předchystané potrubí umístit do sestavy s nádobami. Pokud by byly rozměry prvně špatně změřeny, je možné trubku přímo v sestavě dodatečně upravit.



Obrázek 13 Potrubí zavazbené k nádobám

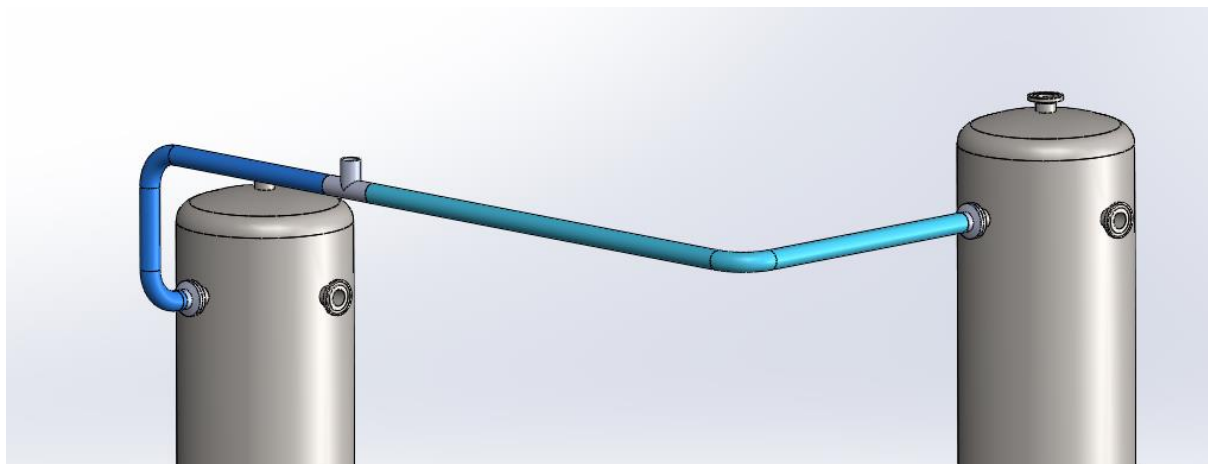


Obrázek 14 Špatně navržené potrubí vyžadující editaci



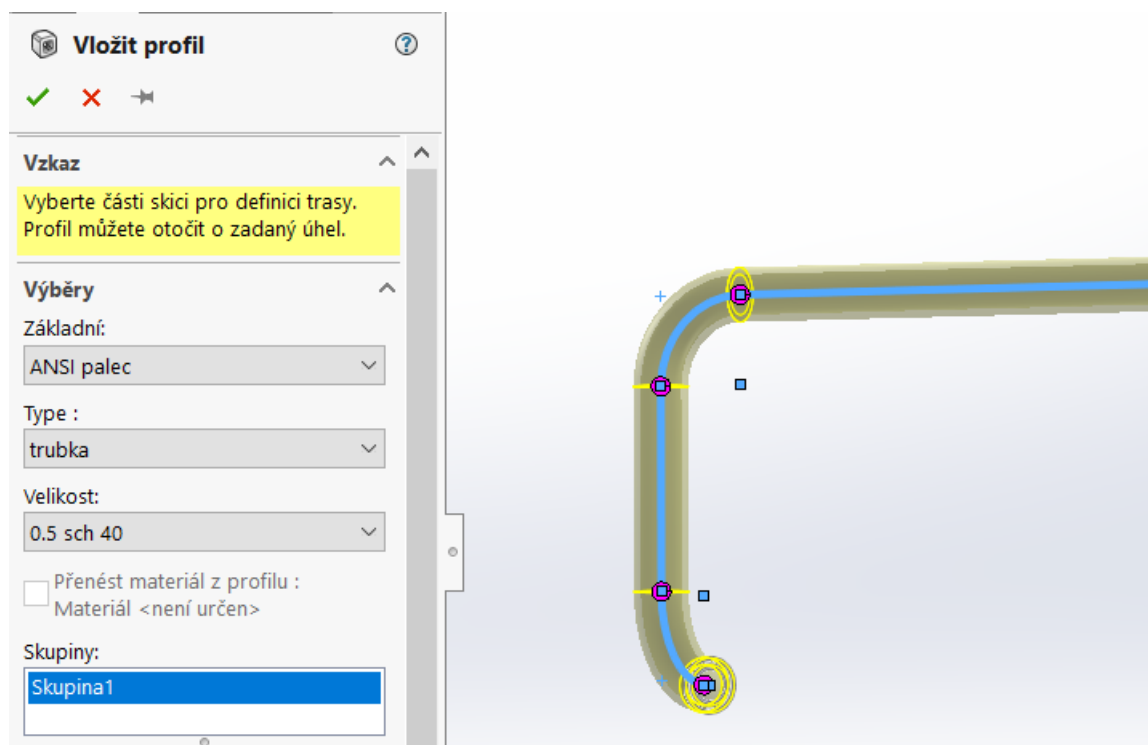
Obrázek 15 Úprava potrubí na potřebný rozměr

Pokud je potřeba, aby mělo potrubí druhou větev, případně je potřeba vložit nějakou armaturu, je nutné rozdělit trubku na dvě samostatné součásti – před a za T-kusem, případně armaturou.



Obrázek 16 Potrubí rozdělené na dva díly s vloženým T-kusem

Alternativou k funkci *Tažení po křivce* je využití funkce *Svařování*, kde za pomoci funkce *Vložit profil* lze přeskočit definování průřezu potrubí pomocí 2D skicy, jelikož v této funkci jsou k dispozici předpřipravené profily trubek, nebo lze zadefinovat profil trubky vlastní. Tudiž je nutné pouze vytvořit 3D skicu, která určuje trasu potrubí. Zbytek postupu je naprosto identický.

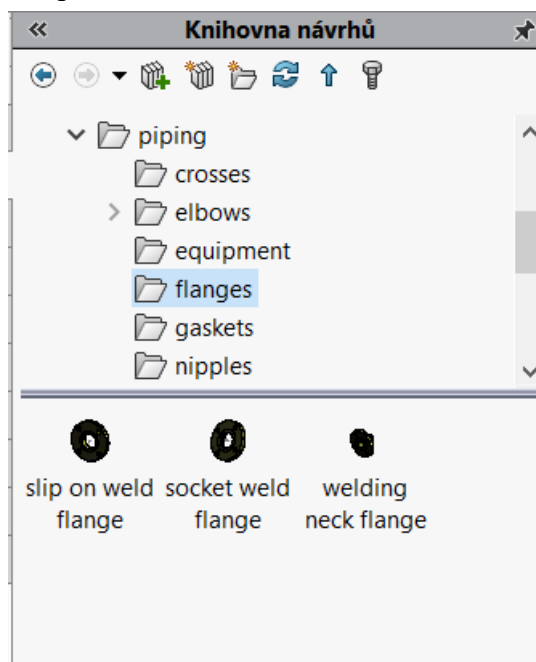


Obrázek 17 Model trubky vygenerovaný pomocí funkce *Vložit profil*

4.1.2 Tvorba potrubí využívající doplňkového modulu SolidWorks Routing

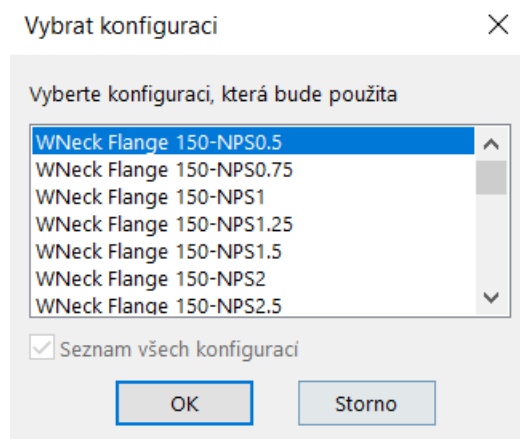
Další metoda návrhu potrubí využívá doplňku *SolidWorks Routing*, který je součástí balíčku *SolidWorks Premium*, který umožňuje vytvářet potrubní a kabelové sítě [18]. Doplňěk funguje na principu vytvoření podsestavy trubky, ve které jsou umístěny všechny její komponenty, jako jsou například kolena nebo T-kusy. Specifické pro tuto podsestavu je fakt, že se vytváří přímo ve vyšší sestavě, kde jsou umístěny prvky – například nádoby, nebo tepelné výměníky, které má potrubí spojit, tedy není potřeba podsestavu nejprve předpřipravit a poté vložit do vybrané vyšší sestavy. Další výhodou tohoto doplňku je fakt, že dokáže vytvářet potrubní trasy automaticky, po vložení dvou výchozích bodů, které propojí.

Třetí metoda tedy bude s využitím *SolidWorks Routing*, přičemž trasa potrubí bude definována manuálně. Bude využito nádob z přechozího příkladu. Jelikož se potrubí vkládá přímo do sestavy s nádobami, není potřebné si předchystat žádné díly či sestavy. Po aktivaci doplňku se objeví k dispozici menu *Potrubí*, které nabízí dvě možnosti: *Začít přetažením* a *Začít v bodě*. Při zvolení *Začít přetažením* se objeví okno s knihovnou dostupných potrubních komponent.



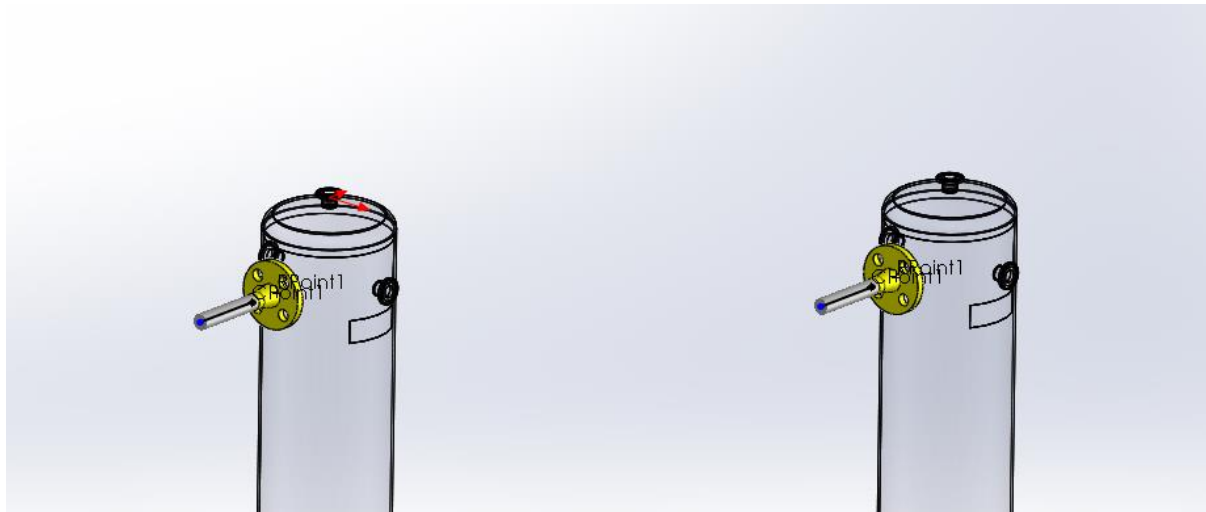
Obrázek 18 Dostupné příruby v Knihovně návrhů

Po výběru složky s přírubami jsou nabídnuty tři typy přírub: přípustné příruby, příruby s přírubou a příruby se svařovacím krkem, které mají v rámci konfigurací definované běžně používané rozměry. Zde se objevuje problém, jelikož v demonstračním příkladu je na nádobách clampová příruba. Pro ukázkou funkcí doplňku bude momentálně použit typ příruby se svařovacím krkem. Po přetažení přírub do okna sestavy a jejich následném přiložení k protikusům na nádobách se zobrazí možnosti velikosti přírub a pro jakou bude světlost potrubí.

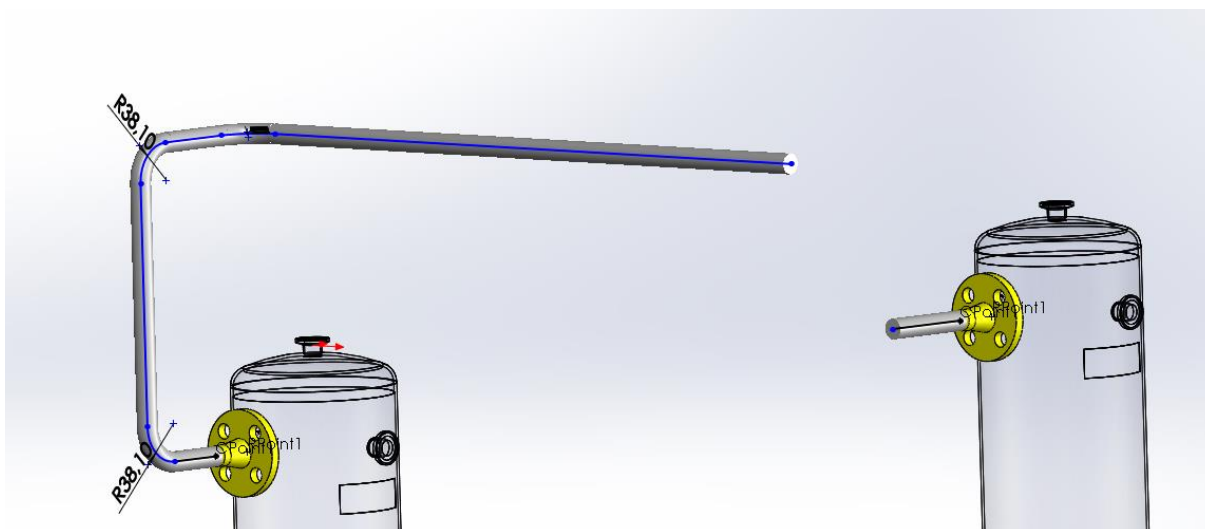


Obrázek 19 Dostupné konfigurace příruby

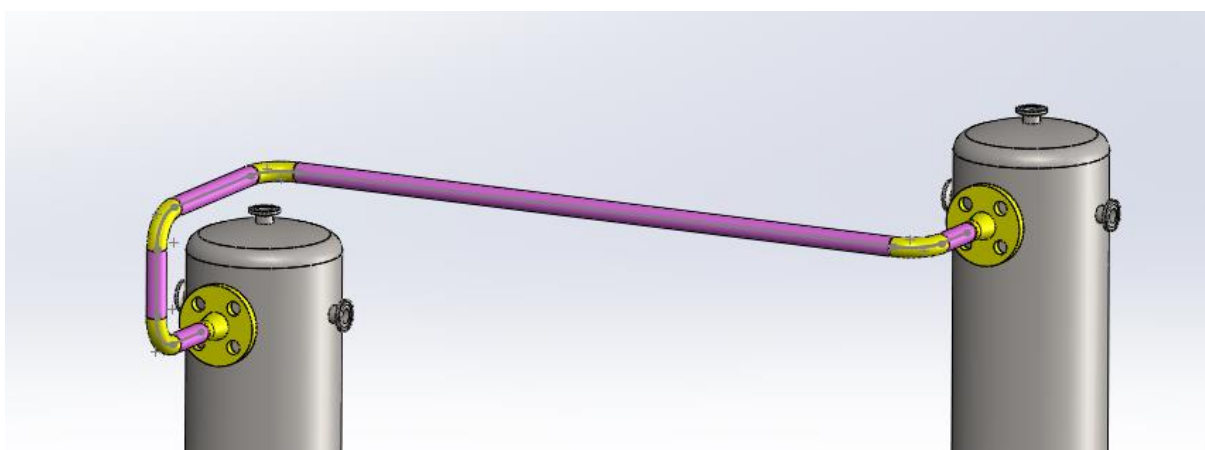
Jakmile jsou umístěny všechny příruby tvořící dané potrubí, naskytují se dvě možnosti, jak dále postupovat. První je manuální vyznačení trasy, kde je definována identicky jako ve 3D skice v předchozích metodách, přičemž ale zaoblení na kolena se přidávají automaticky, kde je možné vybrat standardně užívané poloměry, nebo je také možné nastavit poloměr vlastní pro toto konkrétní potrubí, a zároveň je k dispozici náhled, jak bude potrubí vypadat. Druhou možností je využít funkce Automatické trasování, kde po vybrání dvou bodů, které mají být spojeny, program nabídne řešení trasy. Jelikož ne každé automaticky nabídnuté řešení je optimální, ať kvůli kolizi s ostatními objekty, nebo s nádobami jako takovými, program nabídne hned několik řešení, které lze následně manuálně doladit.



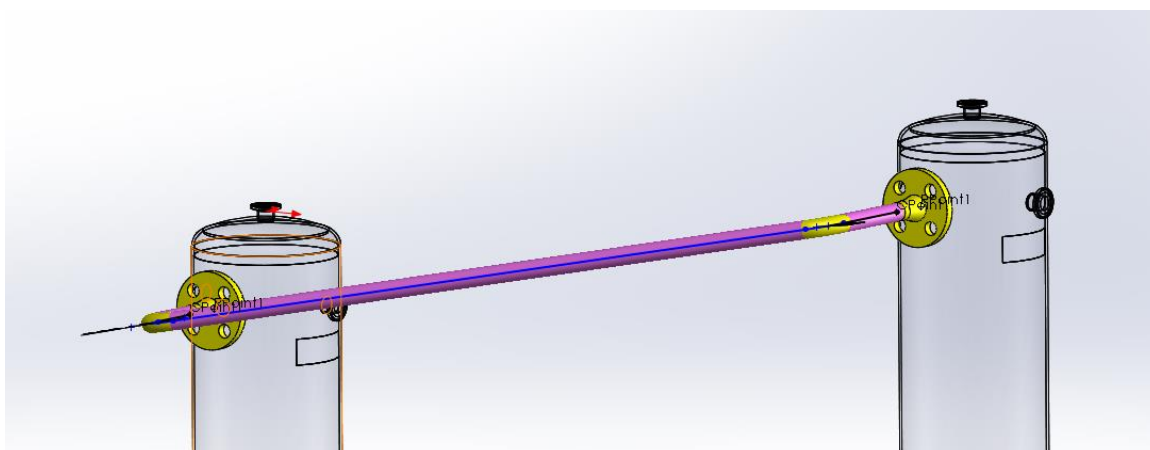
Obrázek 20 Příruby vložené do sestavy s nádobami



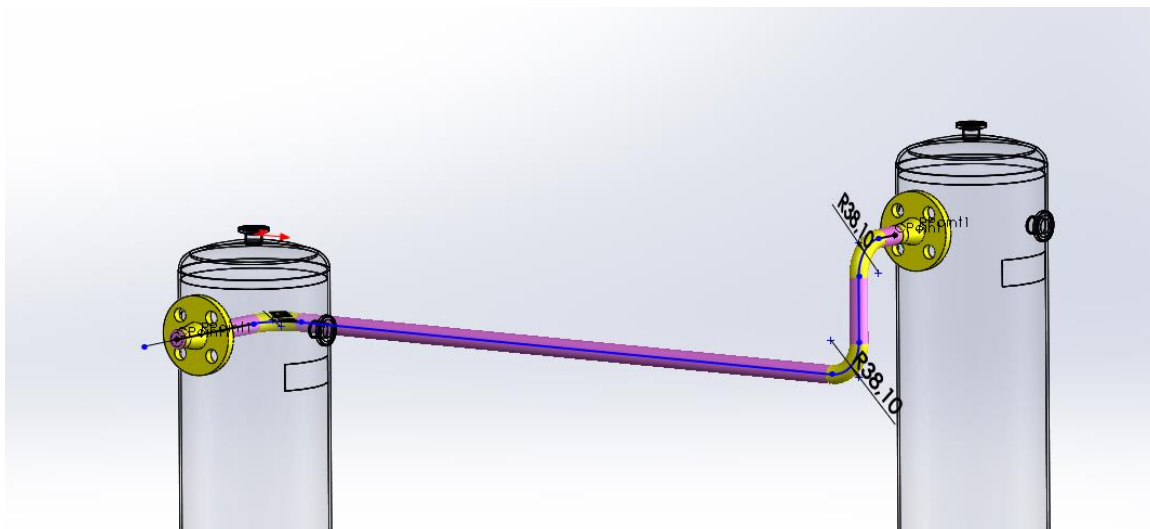
Obrázek 21 Ukázka manuálního vyznačení trasy potrubí



Obrázek 22 Hotové potrubí

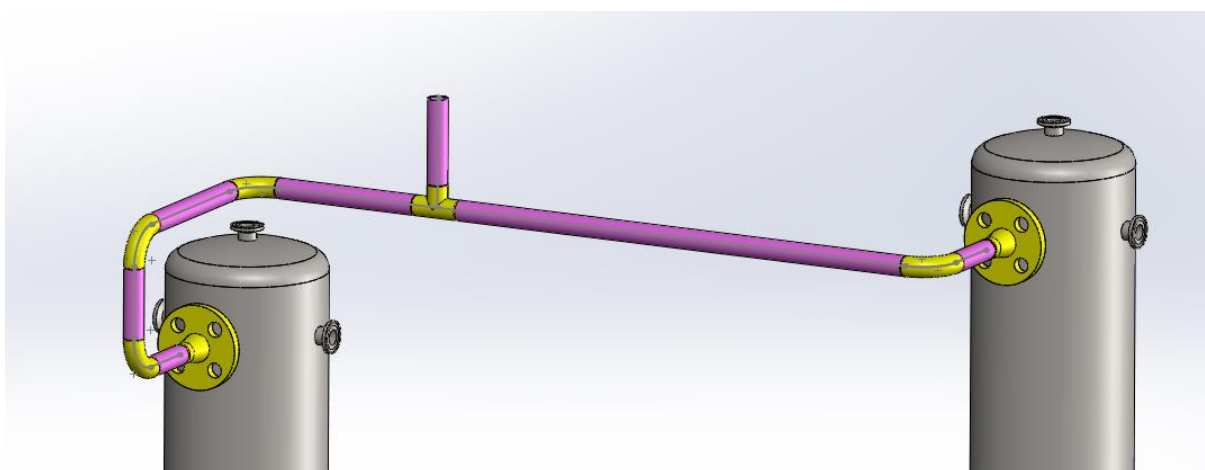


Obrázek 23 Automaticky generovaná trasa potrubí



Obrázek 24 Automaticky vygenerovaná trasa potrubí, která je nerealizovatelná

Pokud je potřeba potrubí rozšířit o další větev, buď je možné z *Knihovny návrhů* přetáhnout T-kus, nebo potrubní kříž, který se automaticky přizpůsobí na světlost potrubí.

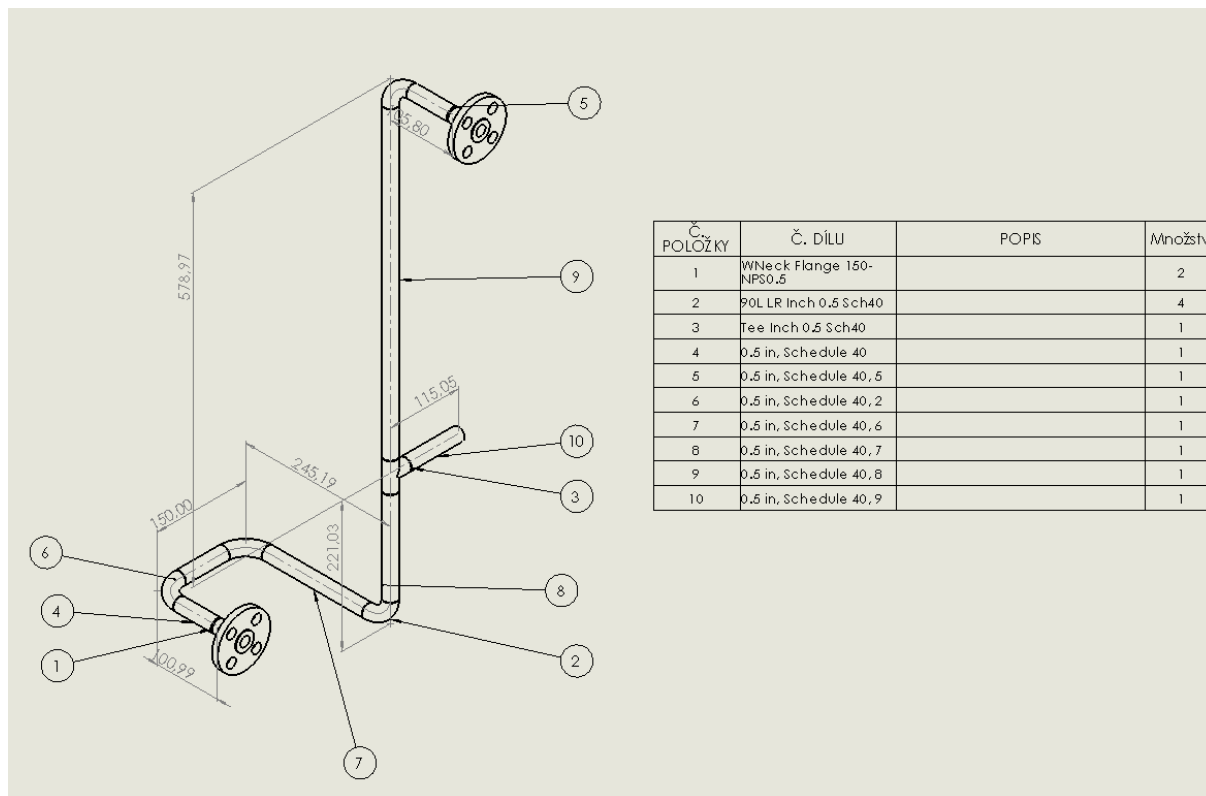


Obrázek 25 Potrubí s vloženým T-kusem

Pokud je tedy vše konstruováno manuálně, má celý model mnohem vyšší přizpůsobitelnost, jelikož uživatel není závislý na připravené knihovně již nachystaných potrubních komponent, ovšem je tento proces výrazně časově náročnější a vyžaduje mnohem více prvotního plánování. Zatímco při použití *SolidWorks Routing*, je uživatel více limitován knihovnou dostupných komponent a rozměrů potrubí, ovšem celý proces tvorby potrubní trasy je výrazně jednodušší a hlavně rychlejší, kde celý proces může být ještě více urychlen, když je programem navrženo vhodné automatické řešení. Další výhodou je snadnost zásahů do potrubní sítě, jako je například přidání odbočky, nebo jiných armatur, kde po přetažení komponenty z knihovny se trasa automaticky uzpůsobí.

Ke tvorbě následné dokumentace lze využít standartního *SolidWorks* výkresu, kde uživatel vybere pohledy, ve kterých má být potrubní celek zobrazen, a následně provede okótování. Kótování je nutné udělat manuálně, protože funkce *Popis modelu* není kompatibilní s modely potrubí vytvořené pomocí *SolidWorks Routing*. Alternativně lze použít funkci

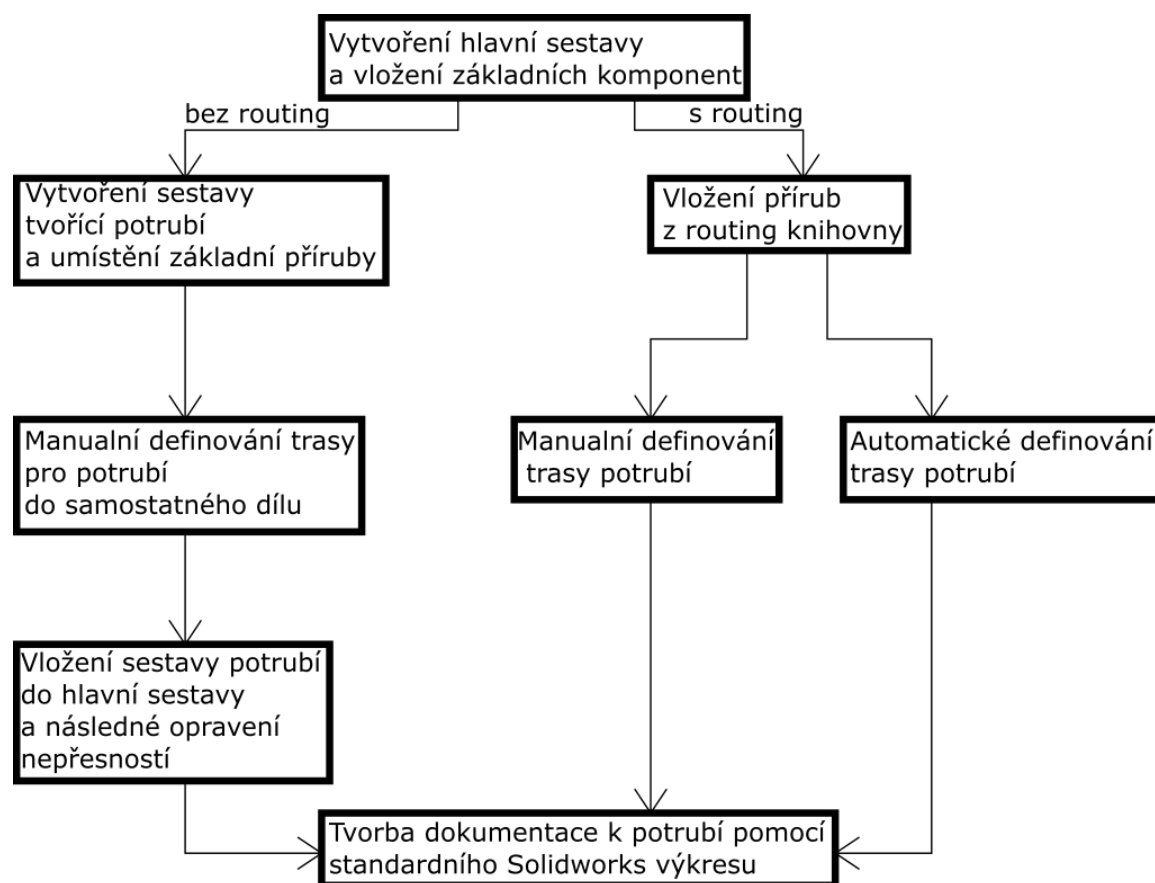
Výkres trubky, která automaticky vytvoří izometrický výkres trubky a současně na něm rozmístí všechny podstatné kóty. U komplexnějších sestav se automaticky umístěné kóty mohou překrývat s jinými kótami, nebo s geometrií samotného potrubí, což snižuje čitelnost celého výkresu. Tento problém lze eliminovat dodatečnými manuálními úpravami uživatelem.



Obrázek 26 Izometrický výkres pomocí příslušné funkce s kusovníkem jednotlivých prvků

4.1.3 Algoritmus návrhu potrubí pomocí SolidWorks

V níže uvedeném diagramu lze jasně rozeznat dva různé postupy návrhu potrubí pomocí softwaru SolidWorks. Bez Routingu bylo nutné velké množství manuálních kroků při tvorbě sestavy potrubí, kdežto s Routingem byla práce podstatně zautomatizována a tím i jednodušší.



Obrázek 27 Algoritmus návrhu potrubí pomocí SolidWorks s a bez doplňku Routing

4.1.4 Zhodnocení SolidWorks Routing

Po praktickém použití softwarového doplňku SolidWorks routing bylo možné vypořádat a rozlišit následující silné a slabé stránky. Uvedené porovnání vychází pouze z realizace prezentovaného příkladu a návrhu potrubí testovací stanice odpark.

Silné stránky SolidWorks Routing

- Integrace do uživatelského rozhraní. Jelikož jde o oficiální doplňkový modul, který je součástí SolidWorks Premium, jedná se téměř o samozřejmost.
- Kompletní česká lokalizace včetně nápovědy.
- Jednoduché a intuitivní vkládání dodatečných fitinek, které nevyžaduje manuální přepočítání modelů potrubí. Přepočítání potrubí proběhne ihned automaticky po umístění fitinky.
- Značné množství komunitou vytvořených instruktážních videí. Kromě rozmanitého množství oficiálních školení od distribučních firem je velké množství komunitních videí dostupných zdarma.

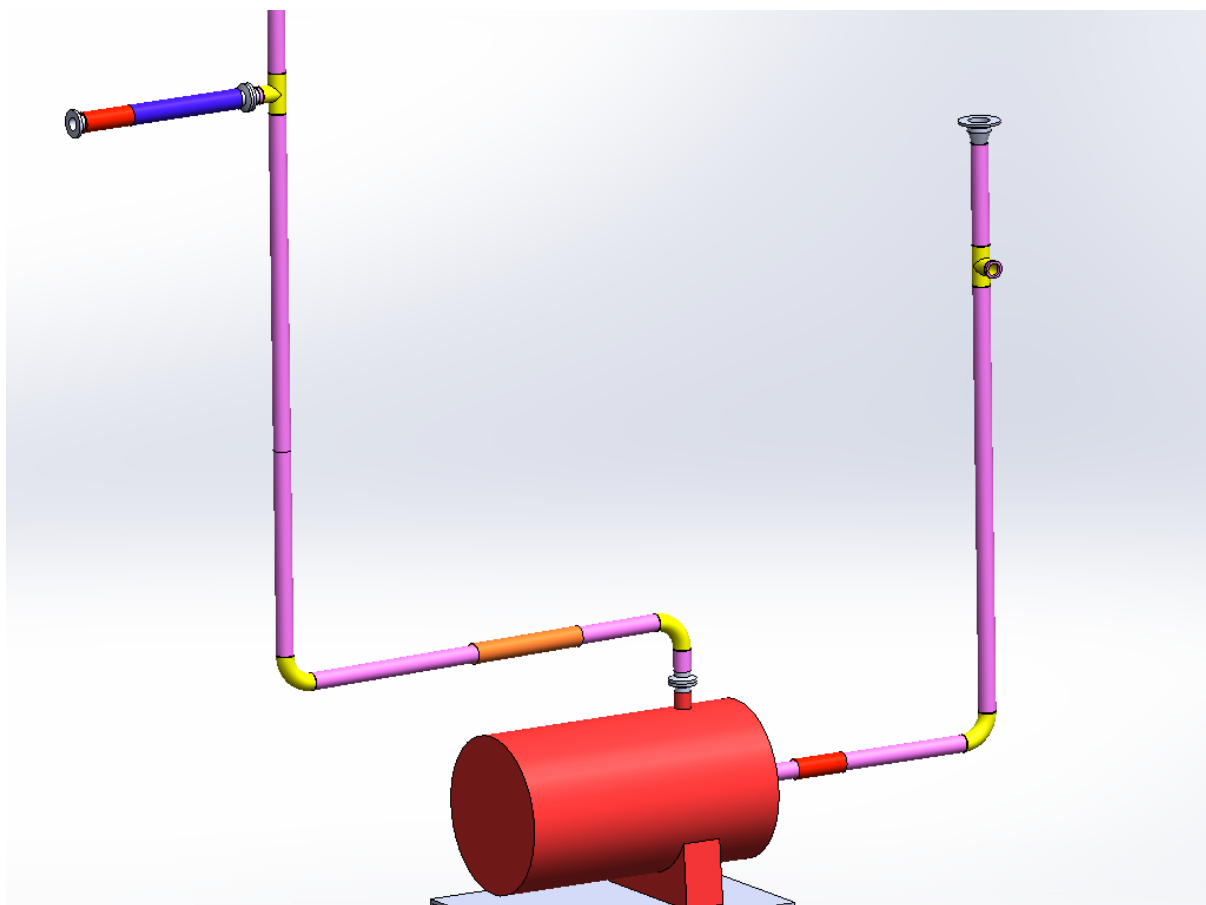
Slabé stránky SolidWorks Routing

- Pokud soubor vytvořený pomocí SolidWorks Routing otevře uživatel, který tento doplňkový modul nevlastní, nemusí se mu zobrazit žádné armatury, které pocházejí z knihoven Routing. Zároveň uživatel nevlastnící tento doplněk nemá možnost 3D model potrubí jakkoliv upravovat. Pro eliminaci problémů se zobrazením 3D modelu lze sestavu potrubí uložit jako typ souboru .igs nebo .step. Tímto krokem ovšem uživatelé (včetně těch vlastnících SolidWorks Routing) přijdou o možnost sestavu dále snadno modifikovat.
- Základní knihovna modelů přírub pro SolidWorks Routing neobsahuje příruby pro clampový spoj.

4.1.5 Metoda využitá při návrhu modelu zapojení odparek v SolidWorks

Při prvním návrhu potrubí pro odparkovou zkušebnu bylo využito kombinace zmíněných postupů. Jelikož *Knihovna návrhů* pro *SolidWorks Routing* neobsahuje clampové příruby, byly vytvořeny vlastní modely clampových přírub, které byly vloženy do sestavy. Následně na ně bylo napojeno potrubí z doplňku *Routing*, pomocí funkce *Začít v bodě*, která následně umožnila snadné modifikace trasy.

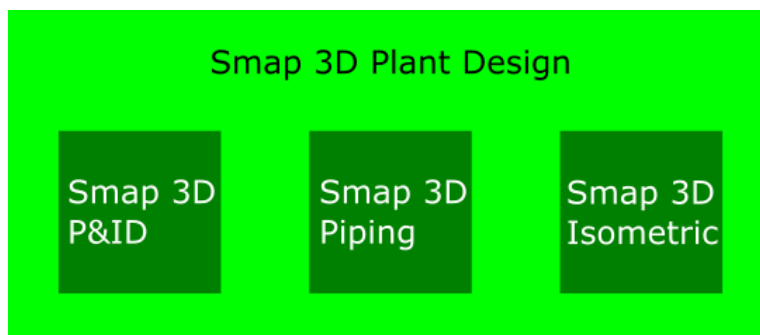
Ventily, kohouty a ostatní armatury byly zjednodušeny v modelu potrubí jako barevné válce, kde každá barva odpovídá jiné armatuře. Na níže uvedeném konkrétním příkladu červené válce symbolizují kulové kohouty, modré válce pneumatické ventily a oranžový válec značí zpětnou klapku.



Obrázek 28 Příklad sestavy potrubí v 3D modelu testovací stanice odparek vytvořeného pomocí *SolidWorks Routing*

4.2 Smap 3D

Balíček softwaru nebo také sada nástrojů Smap 3D Plant design určený pro návrh potrubních systémů, je vyvíjen a distribuován německou společností Smap3D Plant Design GmbH která vzešla ze společnosti CAD Partner GmbH (Gesellschaft mit beschränkter Haftung – německý ekvivalent české společnosti s ručením omezeným), která byla založena roku 1989 a sídlí v obci Nittendorf [22] [23]. Smap 3D plant design se skládá ze tří základních částí Smap3D P&ID, Smap3D Piping a Smap3D Isometric.



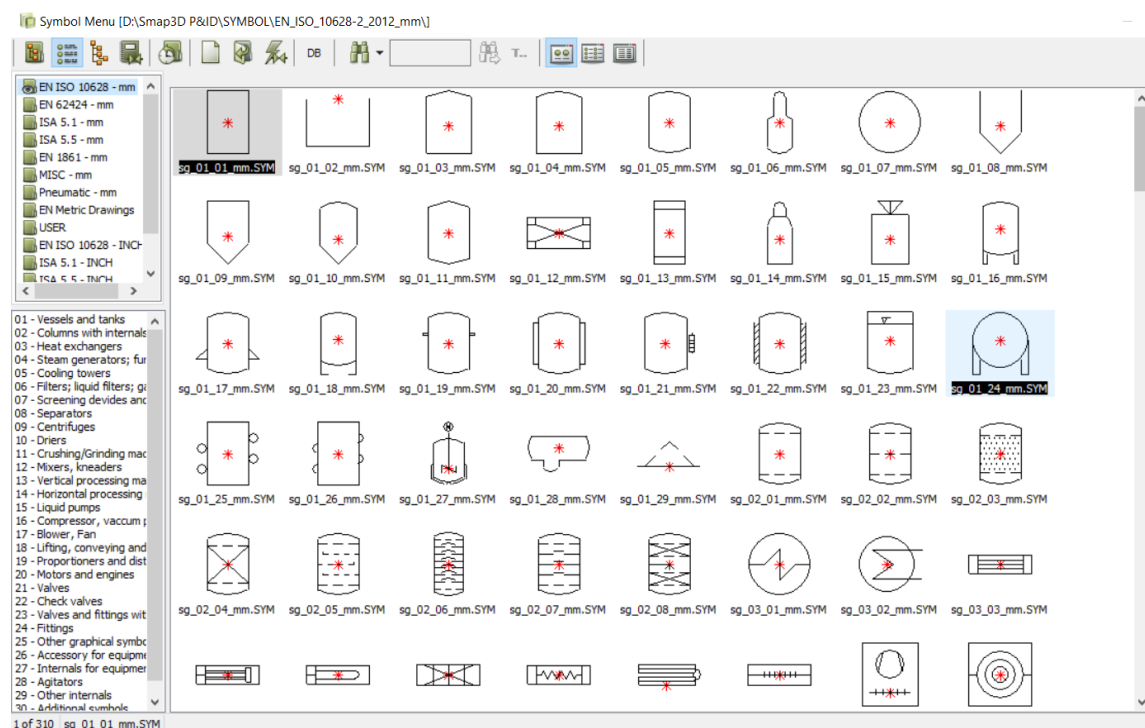
Obrázek 29 Struktura Smap 3D Plant Design

Zde je nutné podotknout, že byla v této práci zkoumána verze Smap 3D Plant Design z roku 2017. Specificky se jedná o verzi 15.2017.400.8. V následující kapitole jsou představeny hlavní funkční možnosti softwarového balíčku Smap 3D Plant design. Posléze je celý postup návrhové činnosti shrnut do jednoduchého schéma a jsou shrnuty silné a slabé stránky softwaru.

4.2.1 Smap3D P&ID

Nástroj Smap 3D P&ID je založen na programu PCSCHEMATIC [22], přičemž se jedná o CAD software od stejnojmenné firmy pro zhotovení elektro dokumentace různého druhu. Při tvorbě nového projektu je možné si vybrat mezi formátem A4, A3, případně vlastním pro hlavní diagram. Posléze je uživatel vyzván pro zadání základních informací jako je název projektu, číslo projektu, nebo název zákazníka. Zde je také možné vložit vlastní logo, které se objeví v popisovém poli hlavního diagramu, a také je možné celý dokument ochránit heslem, které zde lze nastavit. Další postup je obdobný jak v ostatních CAD programech tohoto typu, z rozsáhlé databáze symbolů a značek uživatel vybere potřebné

komponenty a umístí je do hlavního pole diagramu. V tomto případě bude umístěn dvakrát symbol pro nádobu.



Obrázek 30 Databáze dostupných symbolů pro komponenty Smap P&ID

Po vložení všech symbolů pro komponenty je nutné tyto komponenty nakonfigurovat. Zde je nutné nastavit jméno komponenty, kde by se neměl dvakrát opakovat identický název. Aby toto pravidlo bylo dodrženo, program nabízí funkci, která zobrazí všechny použité názvy (symbolizované velkým písmenem sigma vedle kolonky pro jméno), také je zde funkce, která nabídne další dostupný název (symbolizované otazníkem vedle kolonky pro jméno). Je zde vhodné si povšimnout kolonky *Inner equipment*, která určuje, zda se jedná o komponentu z interní databáze, nebo se bude jednat o komponentu zavedenou uživatelem. Nově vložená komponenta je automaticky zaznamenána do kusovníku, který je tvořen automaticky, kde jsou uvedeny základní vlastnosti jako: jméno, typ komponenty, médium protékající komponentou a operační teplota a tlak.

Component data [V0001]

Name: V0001

Type:

Article no:

Spec: 10CA0 1B 1;

Description:

General Ref. design. Symbol data fields Reference Conns. Mechanical Accessory (0)

Quantity: 1,0 Symbol type: Normal

Scale: 1,0

Angle: 0,0

Symbol: sg_01_05_mm

☐ Inner equipment

☒ Visible

☒ Physical

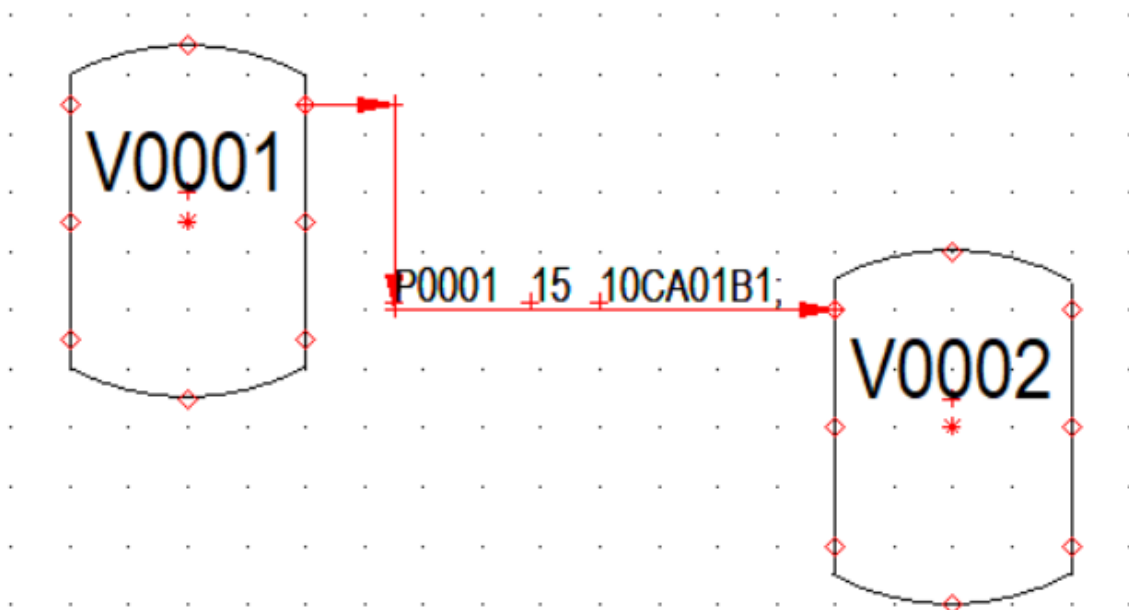
☒ Conduction

☐ Name protected

Ok All Cancel Unit Database content

Obrázek 31 Nastavení nově vložené komponenty v Smar P&ID

Jakmile jsou obě nádoby správně nastaveny, je možné je nyní spojit potrubím, čehož je dosaženo jednoduchým spojením pomocí šipky, která určuje směr toku média. Nyní je toto potrubí nutné nakonfigurovat obdobným způsobem jako nádoby, s mírnou změnou, kde je nutné vybrat třídu potrubí. Lze použít jednu z databáze, nebo je také možné nakonfigurovat vlastní třídu potrubí. Dodatečně lze také přidat pomocí funkce izolaci pro potrubí.



Obrázek 32 Nádoby spojené potrubím v Smap P&ID

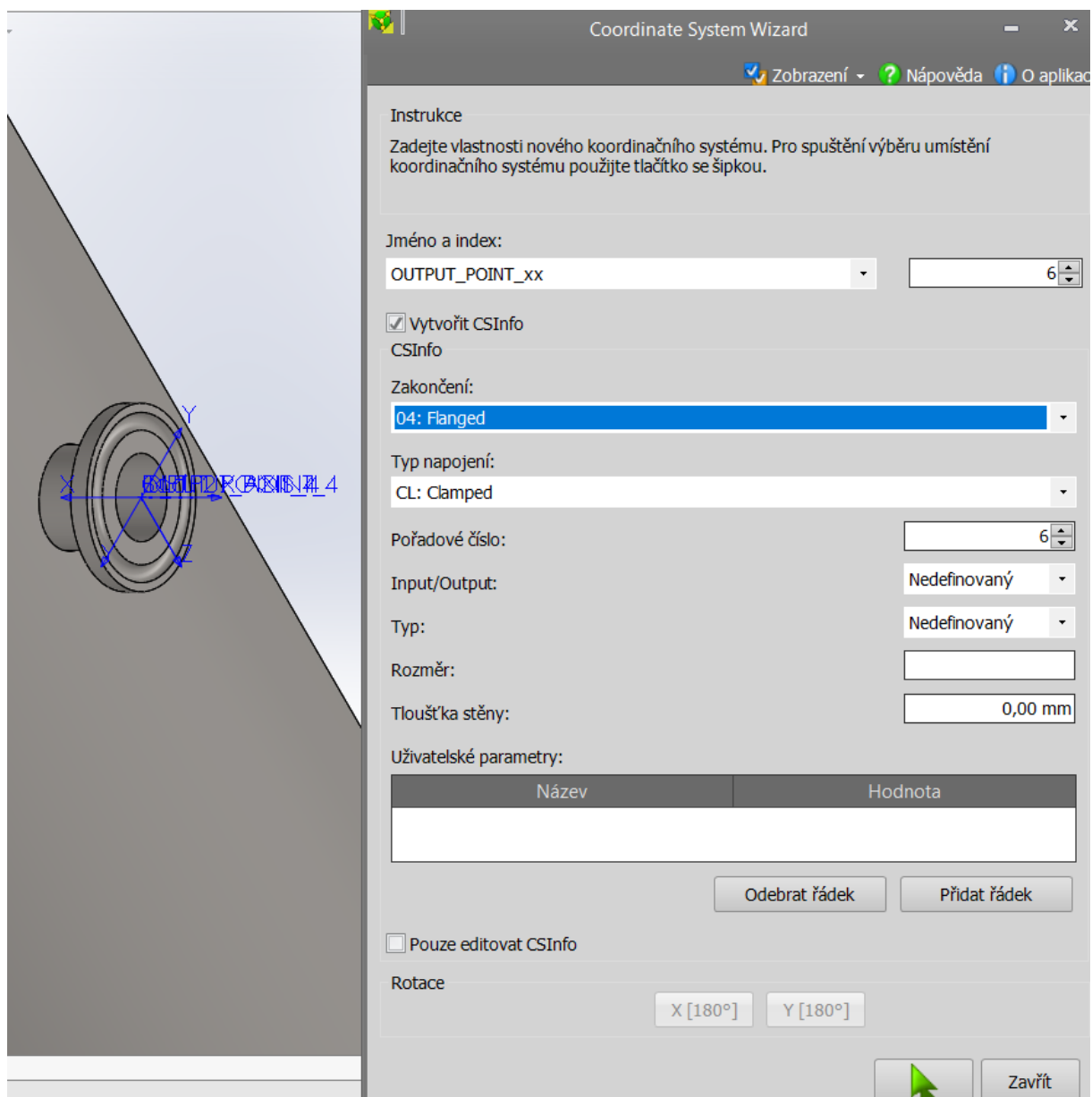
Po vložení všech potřebných součástí, je možné propojit nově vytvořený P&ID projekt se sestavou v programu SolidWorks (nebo Solid Edge). Po vytvoření nové sestavy je možné pustit funkci Smap 3D Piping a posléze P&ID To-Do list nacházející se ve vrchní liště uživatelského rozhraní SolidWorks. Toto umístění je umožněno faktem, že společnost Smap3D Plant Design GmbH, je takzvaný zlatým partnerem SolidWorks, který umožňuje plnou integraci přímo do uživatelského rozhraní SolidWorks, také je softwarový balíček Smap 3D téměř úplně lokalizován do českého jazyka [2]. Jedinou výjimku v lokalizaci tvoří nápověda, což může vytvářet mírně matoucí situace, pokud uživatel nedisponuje potřebnými dovednostmi anglického jazyka, ve kterém je celá nápověda zaznamenána.

Po spuštění funkce P&ID To-Do list je uživatel vyzván vybrat konkrétní P&ID projekt, který chce s touto sestavou spojit. Jakmile je vybrán správný soubor, tak se v pravé části okna v SolidWorks objeví P&ID To-Do list. V tomto seznamu jsou pomocí stromu vyznačeny všechny prvky, které byly zaneseny do P&ID. Na uvedeném konkrétním příkladu jsou dvě nádoby ve větvi pro komponenty a potrubí v samostatné větvi stromu.

P&ID To-Do list	
Název	
[-] DIA 1 !	
[-] Komponenta !	
+	V0001
+	V0002
[-] Potrubí !	
+	P0001_15
+	V0001
+	V0002

Obrázek 33 P&ID To-Do list

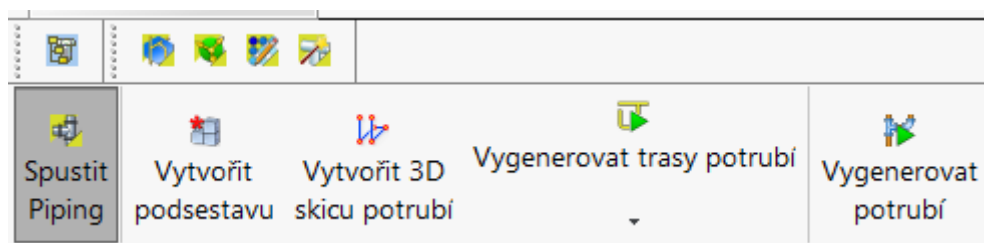
Jelikož se nejedná o nádoby, které by byly obsaženy v databázi dostupných komponent, je nutné na modelu nádoby nastavit vstupní a výstupní body. K tomuto účelu slouží funkce Coordinate System Wizard. V okně, která daná funkce otevře, je možné vybrat jaký typ souřadného systému bude do modelu přidán. Pro potřebu nastavení výstupu potrubí z nádoby je již předem vybrán OUTPUT_POINT_xx. Pro výběr konkrétní výstupní příruby slouží ikona zelené šipky, po jejímž stisknutí je uživatel vyzván pro výběr jednoho z následujících objektů pro umístění koordinačního systému: kružnice, cylindrický nebo kónický povrch, bod skici a čáru skici. Jakmile uživatel vloží výstupní koordinační systém, tak se automaticky také vloží koordinační systém vstupní. Toto vložení vstupního bodu mírně zhorší přehlednost, jelikož se překrývá navzájem s výstupním bodem. Číslo tohoto nově přidaného výstupu bude odpovídat s číslem výstupu na symbolu nádoby ve schématu P&ID. Jakmile jsou tímto způsobem přiřazeny všechny výstupy z nádoby, je možné model nádoby vložit do nachystané SolidWorks sestavy.



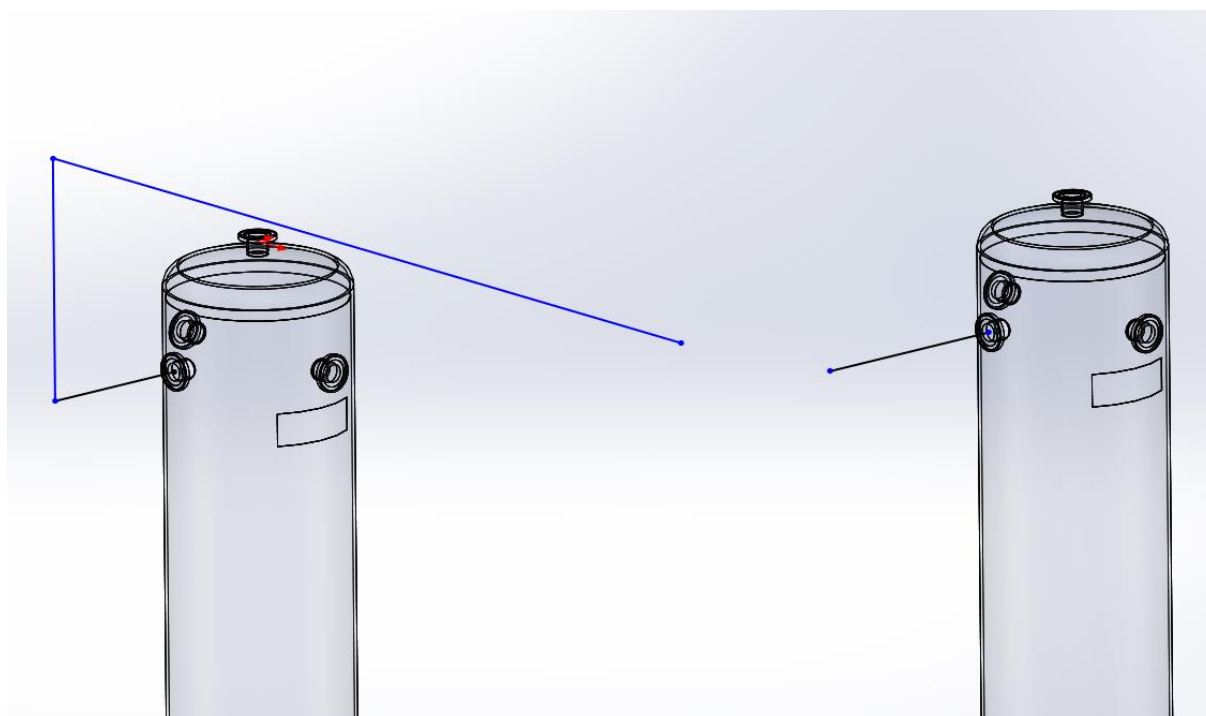
Obrázek 34 Coordinate System Wizard s nadefinovanými souřadnými systémy v přírubě

4.2.2 Smap 3D Piping

Pro vytvoření 3D modelu potrubí za pomoci Smap 3D Piping je prvním krokem v sestavě s nádobami vytvoření podsestavy, která bude sloužit jako základ pro tvorbu potrubí, přičemž v uživatelském rozhraní SMAP 3D je pro tento účel nachystaná funkce Vytvořit podsestavu. Další krok spočívá ve spuštění funkce Vytvořit 3D skicu potrubí, která se mírně liší od standardní funkce Načrtnout 3D skicu pojmenováním nově vytvořené skici tak, aby doplňkový modul rozeznal, že se jedná o skicu trasy potrubí, a ne o skicu určenou k definování jiných prvků v sestavě. Zde je potřeba ručně vyznačit trasu potrubí obdobně jako při manuálním definování trasy za použití SolidWorks Routing; tento postup se například shoduje ve faktu, že není potřeba definovat zaoblení kolen. Pokud je sestava propojena s projektem P&ID, je možné zvýraznit vstupní a výstupní body pro potrubí. Ve verzi 2017 není dostupná funkce pro automatickou tvorbu cesty. Tato funkce byla přidána až do novější verze.

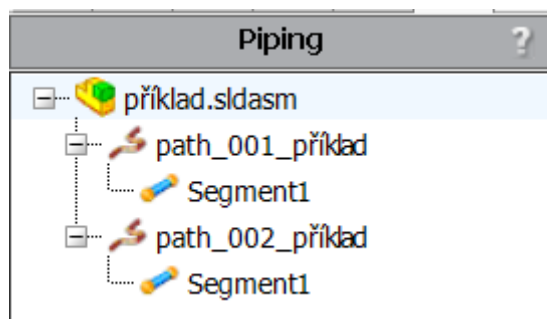


Obrázek 35 Uživatelské rozhraní SMAP 3D Piping



Obrázek 36 Rýsování 3D skici trasy potrubí

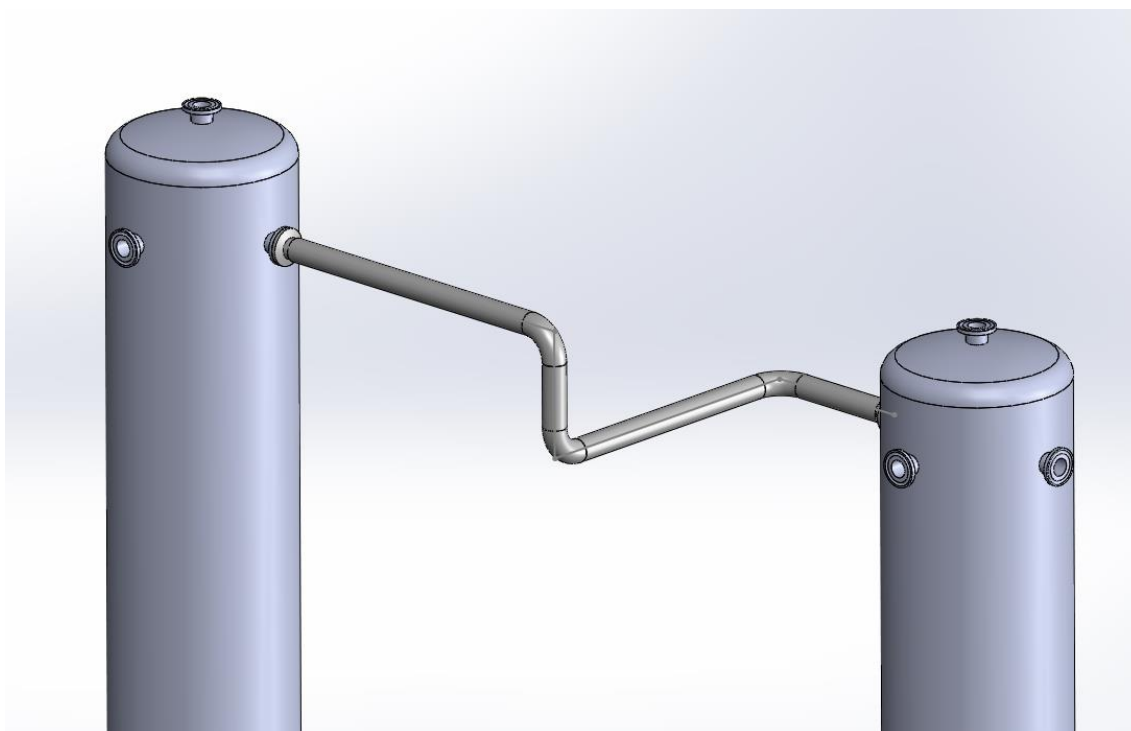
Po dotvoření trasy potrubí je nutné spustit funkci Vygenerovat trasy potrubí. Touto funkcí doplňkový modul rozdělí větvené potrubní struktury na jednotlivé trasy.



Obrázek 37 Jednotlivé trasy a segmenty vytvořené funkcí Vygenerovat trasy potrubí

Ačkoliv je Smap P&ID součástí balíčku softwaru, pokud jsou veškeré parametry externě dodány a známy a je pouze potřeba vytvořit 3D modely potrubí, lze přeskočit celou tvorbu P&ID. Pokud je postupováno bez využití P&ID, pro dokončení tvorby modelu trubky je nutné vybrat jednotlivé trasy vytvořené přechozí funkcí a pro každou spustit funkci Vygenerovat potrubí. Po aktivaci se zobrazí dialogové okno, ve kterém je nutné vybrat třídu potrubí z dostupných v databázi doplňkového modulu, nebo si lze nadefinovat vlastní. Po výběru třídy potrubí a výběru světlosti se ve spodní části okna zobrazí prvky jako příruby, kolena a T-kusy, které budou použity ve finálním modelu potrubí. Pokud je postupováno s využitím Smap 3D P&ID, je tento krok zjednodušen na pouhé přiřazení nově vytvořené trasy potrubí ke korelující položce ve stromu P&ID To-Do list.

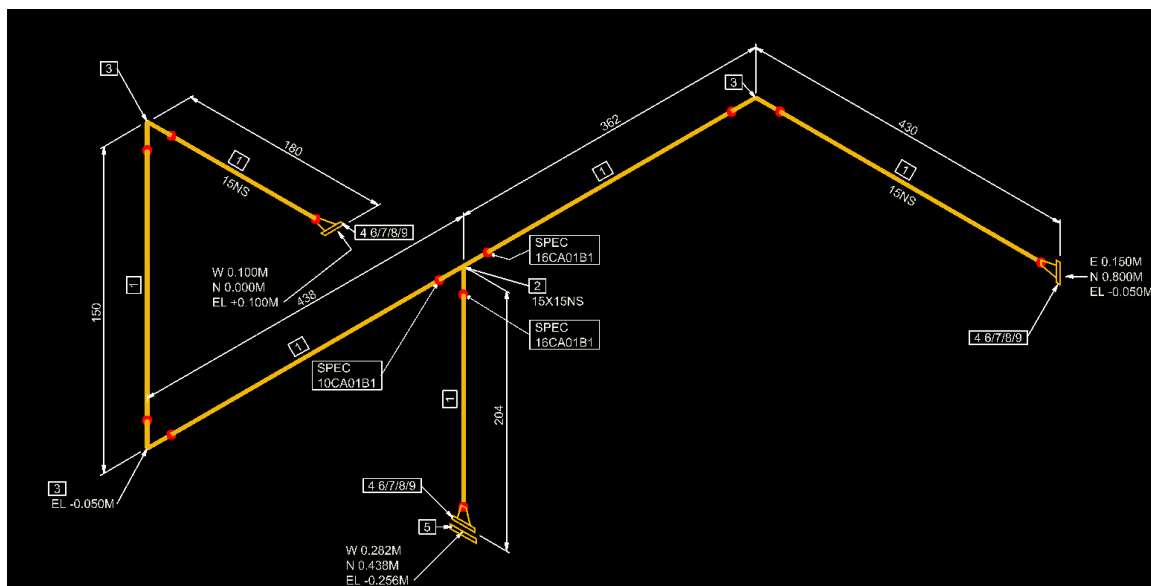
Nově vygenerované potrubí se uloží do předpřipravené sestavy, přičemž jednotlivé segmenty a prvky jsou uloženy samostatně jako standardní SolidWorks díly, aby bylo možné potrubí vytvořené za pomoci SMAP 3D Piping zobrazit v programu SolidWorks i bez tohoto doplňkového modulu.



Obrázek 38 Potrubí vygenerované za pomoci Smap 3D Piping

4.2.3 Smap 3D Isometric

Poslední ze třech hlavních částí softwarového balíčku je Smap 3D Isometric, které primárně slouží jako alternativa ke klasickým výkresům potrubí tvořených v programu SolidWorks. Smap 3D Isometric je založen na programu Isogen od společnosti Alias [22]. Pro vytvoření izometrického výkresu stačí mít otevřenou sestavu obsahující potrubí vytvořené za pomoci Smap 3D Piping a v uživatelském rozhraní vybrat modrozelenou ikonu pro Smap 3D Isometric. Po spuštění provede software uživatele tvorbou izometrického výkresu, který bude vygenerován ve formátu DWG nebo DXF, tedy standardní 2D CAD soubory. V nově vytvořeném výkresu jsou vyznačeny všechny základní rozměry a označení rozmístění jednotlivých prvků potrubí, ke kterým je připojený kusovník, jež se dělí na dvě části. První část je výrobní kusovník, kde jsou uvedeny počty fitinek a také celková délka trubky potřebná pro nákup. Ve druhé části je kusovník pro montáž, ve kterém jsou uvedeny těsnění a množství šroubů a matek nutných pro správnou montáž, za předpokladu, že je použit šroubovaný typ přírub. Komplexnější sestavy jsou rozděleny do vícero výkresů s návaznými body.



Obrázek 39 Izometrický výkres vytvořený pomocí softwaru Smap 3D Isometric

MATERIAL LIST – FABRICATION				
PT.NO	SIZE	ITEM CODE	DESCRIPTION	QTY
1	15	Tube 21,3 x 2,0 - EN		1.5 M
2	15X15	Tee DIN 2615-1 A-21,		1
3	15	Elbow - EN 10253-1 t		3
4	15	Flange DIN EN 1092-1		3
5	15	Flange DIN EN 1092-1		1

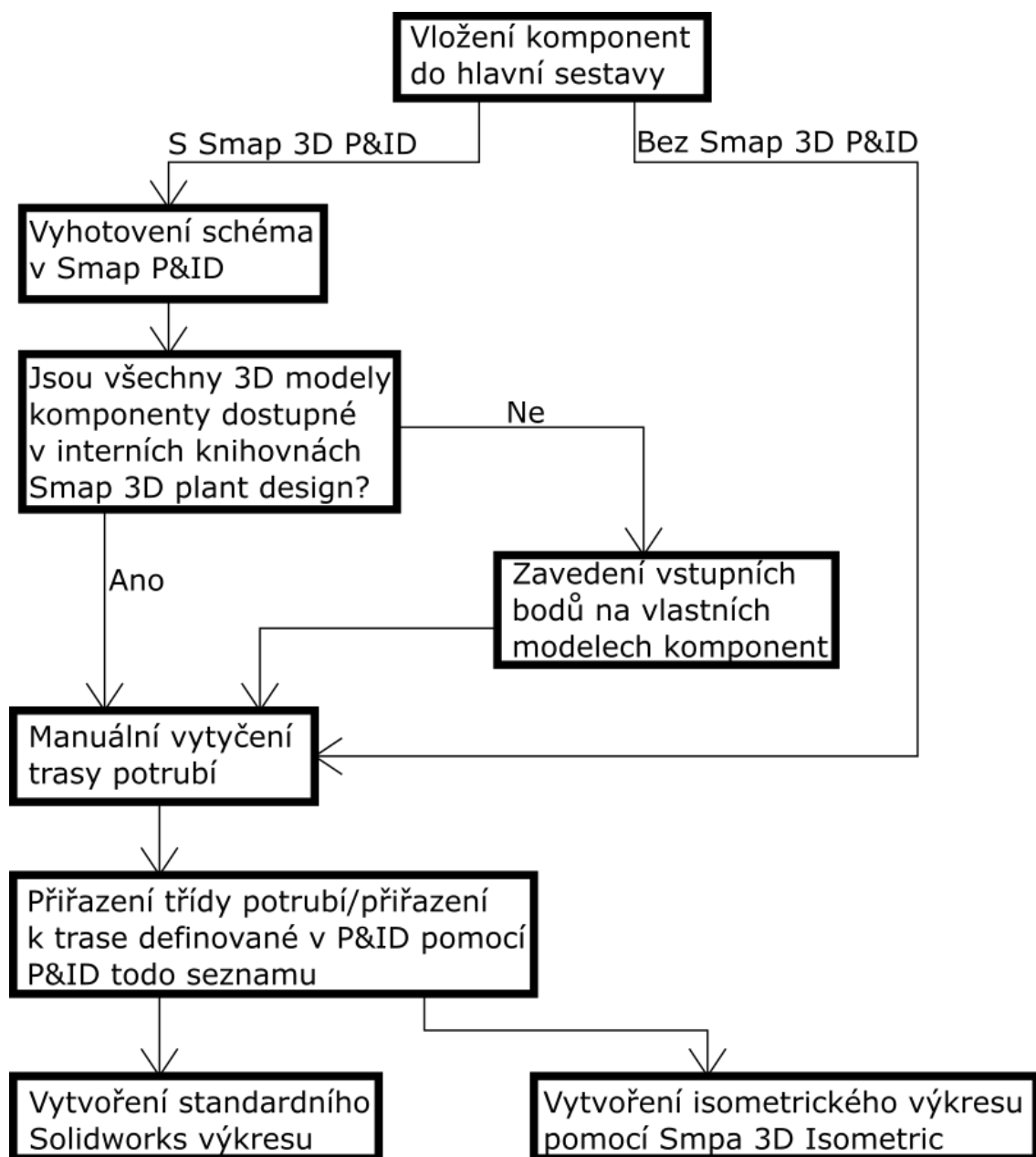
Obrázek 40 Automaticky vytvořený výrobní kusovník v Smap 3D Isometric

MATERIAL LIST – ERECTION				
PT.NO	SIZE	ITEM CODE	DESCRIPTION	QTY
6	15	Flat gasket EN 1514-		3
7	12	100-12-55-001	Hexagon head bolt EN ISO 4014 - 5.6 - M12 x 55	12
8	12	100-12-002	Washer EN ISO 7089 - 12	24
9	12	100-12-003	Hexagon nut EN ISO 4032 - M12	12

Obrázek 41 Automaticky vytvořený montážní kusovník v Smap 3D Isometric

4.2.4 Algoritmus návrhu potrubí v Smap 3D

V následujícím diagramu je uveden jako hlavní postup návrhové činnosti tvorby potrubí využívající Smap 3D P&ID. Tento postup ovšem není nutný, jelikož lze využívat Smap 3D Piping bez navazujícího P&ID schéma. Přesto jsou závěrečné kroky návrhové činnosti téměř totožné.



Obrázek 42 Algoritmus návrhu potrubí pomocí Smap 3D Plant design

4.2.5 Zhodnocení Smap 3D

V rámci hodnocení balíčku nástrojů Smap 3D Plant Design je nutné zdůraznit, že je zde hodnocena verze z roku 2017. Konkrétně se jedná o verzi 15.2017.400.8. Proto je možné, že funkce a prvky, které mohou být uvedeny mezi slabé části programu, mohou být, nebo jsou v novější verzi programu již vylepšeny, nebo přidány.

Silné stránky Smap 3D:

- Provázanost tří základních částí softwarového balíčku, především prvních dvou: Smap3D P&ID, Smap3D Piping. Pokud uživatel udělá změnu v P&ID dokumentu, je na to okamžitě upozorněn při používání Smap3D Piping, konkrétně v rozhraní P&ID To-Do. Zároveň Smap3D Piping plně použitelné bez Smap 3D P&ID.
- Smap 3D Isometric značně usnadňuje a urychluje tvorbu dokumentace, pro mnoho potrubí je i přehlednější než standardní SolidWorks výkres.
- Integrace Smap 3D Piping do uživatelského rozhraní programu SolidWorks je provedena velmi kvalitně.
- Valná většina funkcí je lokalizována do českého jazyka.
- Firma distribuující Smap 3D poskytuje školení formou webinářů, které představí všechny základní funkce.
- Zavádění vlastních prvků potrubí je velice jednoduché a intuitivní.

Slabé stránky Smap 3D:

- Absence automatického vyznačení trasy pro potrubí. Ačkoliv tento typ funkce je vhodné využívat zejména u jednoduchých potrubních tras bez velkého množství odboček, dokáže tato funkce ušetřit značné množství času. Funkce pro automatickou trasu byla přidána do novější verze balíčku Smap 3D.
- Náповěda pro Smap 3D není lokalizována do českého jazyku. Ačkoliv se jedná o malou výtku, může způsobit při hledání informací o konkrétní funkci k nesrovnalosti, kdy uživatel nejprve musí odhadnout, jak se funkce nazývá v anglickém jazyce.
- Český překlad též není dostupný na celý Smap 3D P&ID a výkresy vytvořené v Smap 3D Isometric.
- Nízká rozmanitost volně dostupných instruktážních videí. Problém dostupných instruktážních videí spočívá v malém množství, což není příliš překvapivé, jelikož se jedná o balíček programu s velmi úzkým využitím. Zároveň ve většině těchto videí jsou funkce popisovány na identickém příkladu a postup je také identický.
- Základní knihovna modelů přírub pro Smap 3D neobsahuje příruby pro clampový spoj.
- Po vložení nové fitinky je nutné celé potrubí přepočítat, což je uděláno až po aktivaci této funkce uživatelem, nikoliv automaticky.
- Prvotní generace potrubí u komplexnějších potrubních sestav může trvat až několik minut.

5 Zhodnocení přístupů

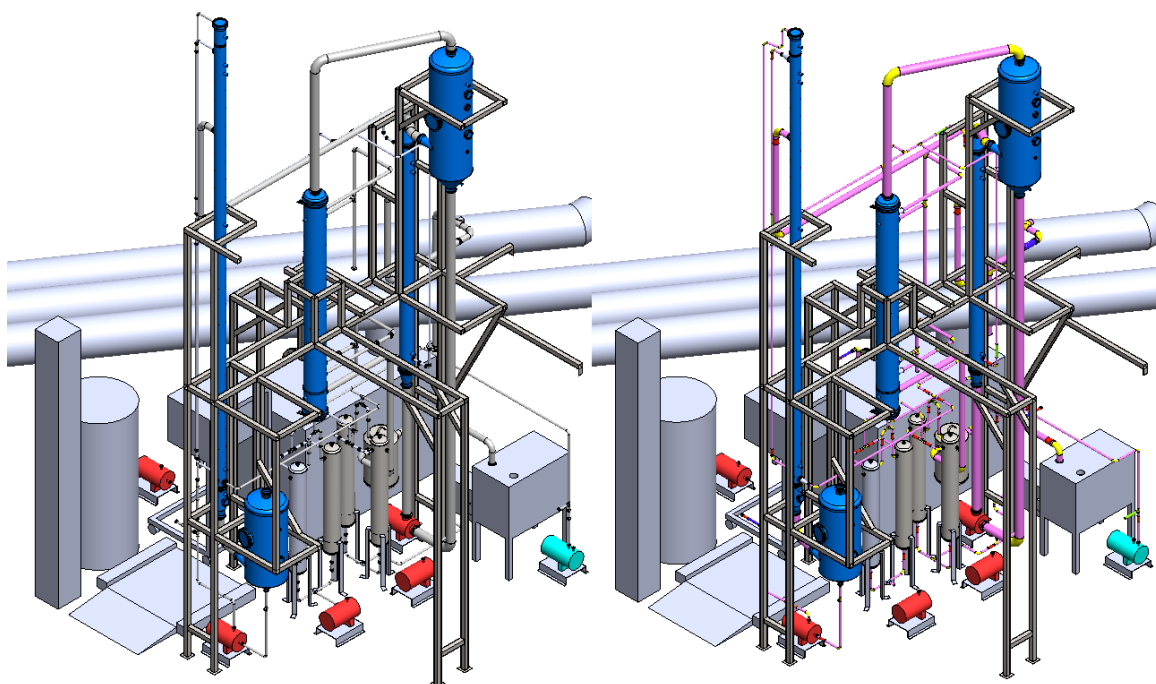
Záměr použití balíčků softwaru SolidWorks Routing a Smap 3D plant design je principiálně stejný. Cíle je dosaženo podobným, ale nikoliv totožným přístupem a postupem. Hlavním úkolem těchto sad nástrojů je usnadnění a urychlení tvorby 3D modelů potrubních sítí.

SolidWorks Routing sází na intuitivní ovládání a umisťování komponent – armatur. Pro urychlení procesu návrhové činnosti lze komponenty vkládat z knihovny během procesu definování trasy. Smap 3D Piping je více zaměřený na provázání s doplňkovými programy.

Smap 3D P&ID a Isometric umožňuje dobré rozložení pracovních povinností mezi více pracovníků, nebo pouhé zvýšení přehlednosti o funkčnosti jednotlivých potrubí. Nicméně zaostávají v automatizaci jednotlivých kroků, například při tvorbě 3D modelu částí potrubí jako takových.

Jelikož jsou oba posuzované softwary operující v rozhraní programu SolidWorks, identický grafický výstup 3D modelů je předpokládatelný. Zde má menší výhodu SolidWorks Routing, jelikož barevně odlišuje armatury (žluté) od rovných potrubních částí (fialové), jak je patrné na (Obrázek 43). Výraznějším rozdílem jsou možnosti editace jednotlivých modelů potrubí uživatelem, který nevlastní ani jeden ze zmiňovaných softwarových balíčků.

U SolidWorks Routing modelů mohou vytvářet problémy části modelu potrubí, které jsou přebírány z interních knihoven, kterými disponují uživatelé vlastníci SolidWorks Premium. Při otevření 3D modelů, některými uživateli se standardní verzí SolidWorks, se tyto součásti v určitých případech nemusí zobrazit, a tedy znehodnotí celý model. Tyto modely potrubí také není možné editovat bez patřičného doplňkového modulu. Jelikož Smap 3D Piping využívá pouze nativních funkcí základního programu SolidWorks, je zajištěna kompatibilita se všemi verzemi SolidWorks včetně těch bez softwarového balíčku Smap 3D plant design. U zmíněných modelů je zobrazení a případná editace jiným uživatelem bez balíčku softwaru Smap 3D plant design poměrně dobrá. Je zde umožněna změna rozměrů jednotlivých úseků potrubní trasy úpravou hlavní 3D skici, jež udává právě trasu celého modelu potrubí.



Obrázek 43 Vlevo 3D model testovací stanice odparek s potrubím vytvořeným za pomoci Smap 3D Piping. Vpravo 3D model testovací stanice odparek s potrubím vytvořeným za pomoci SolidWorks Routing

Oba softwarové balíčky vytváří srovnatelně velké soubory 3D modelů potrubí. Množství místa na disku, které soubory zabírají, se může jevit jako nepodstatný údaj, ale při velkém množství projektů a u komplexních sestav se potenciálně mohou objevovat rozdíly, které mohou následně rychleji plnit pevný disk. Rozdíl ve velikosti sestav testovací stanice odparek byl pouze v řádu desítek až stovek kB.

5.1 Porovnání silných a slabých stránek jednotlivých softwarových balíčků

Velmi silnou stránkou Smap 3D Plant design je spolupráce mezi Smap 3D P&ID a Smap 3D Piping. Ačkoliv SolidWorks Routing umožňuje import P&ID schéma ze SolidWorks Electrical, ve studentské verzi licence celého balíčku softwaru SolidWorks obsahuje pouze schématické značky pro prvky elektrického obvodu. Smap 3D P&ID obsahuje rozsáhlou knihovnu schématických značek pro strojně-technologické schéma, tedy například: nádoby, armatury, čerpadla, tepelné výměníky, odparku atd. Smap 3D Plant design disponuje poloautomatickou synchronizací mezi schématem P&ID a 3D modelem pomocí funkce *Aktualizovat podle P&ID projektu*, tudíž není nutný opětovný import po aktualizaci P&ID schématu.

Největší rozdíl v programech je při tvorbě trasy potrubí a následně 3D modelu jako takového. Ve Smap 3D Piping je nutné pomocí příslušné funkce nejprve vytvořit novou sestavu, poté přejít do režimu pro úpravy dané sestavy a následně lze vytvořit 3D skicu, která bude definovat trasu pro potrubí. U Solidworks Routing uživatel pouze vytvoří novou sestavu potrubí pomocí příslušné funkce a zadá parametry, jako jsou světlost nebo třída a ihned může definovat trasu. Ačkoliv jsou ve Smap 3D Piping funkce v uživatelském rozhraní seřazeny v nutném pořadí, ve kterém mají být vykonávány při tvorbě 3D skici,

jedná se o kroky, které by mohly být automatizovány, jako je v případě SolidWorks Routing.

Při rýsování samotné 3D skici má Smap 3D mírnou výhodu, kdy není nutné značit zaoblení v rozích pro kolena. SolidWorks Routing tyto zaoblení s kótou poloměru vkládá automaticky, ale pokud uživatel provede změnu, která toto zaoblení odstraní, nebo změní T křižovatku na pouhý záhyb potrubí, je nutné vložit zpět zaoblení, neboť bez něj se 3D model nevygeneruje.

Tvorba 3D modelu potrubí u SolidWorks Routing probíhá již během tvorby vodící skici, tedy je celý model hotový ihned po jejím dokončení. Smap 3D Piping vyžaduje nejprve spuštění funkce, která celou trasu rozdělí na jednotlivé segmenty, ke kterým je nutné přiřadit třídu potrubí a světlost. Teprve poté lze spustit generování 3D modelu, které může u komplexnějších sestav trvat řádově několik minut. SolidWorks Routing je v tomto ohledu mírně svižnější. Při vkládání armatur do dokončené trasy se u SolidWorks Routing trasa automaticky přepočítá, kdežto u Smap 3D je tento přepočet nutné zahájit manuálně.

Silnou stránkou obou softwarů je nástroj na tvorbu vlastních armatur. Jedná se o SolidWorks Routing library manager a Component Wizard pro Smap 3D Plant design. Zde je nutné poznamenat, že na zařízení, na kterém byly tvořeny modely potrubí testovací stanice odparek, je SolidWorks Routing library manager nefunkční. Tento problém může být způsoben různými důvody. Nejpravděpodobnější varianta je, že studentská licence nemá tuto funkci povolenou. Další možnou variantou je, že se jedná o poškozenou instalaci celého programu SolidWorks, ovšem reinstalace tento problém nevyřešila. Dle dostupných materiálů se jeví oba nástroje velice obdobně. Nejprve je uživatel vyzván k vybrání typu vlastní armatury a poté k definování vstupních bodů, určených typem armatury.

Oba balíčky softwaru nabízí alternativu k standardnímu výkresu. SolidWorks Routing vygeneruje izometrický výkres, který vykresluje celé potrubí s příslušnými kótami a očíslovanými armaturami, ke kterým je nutné ručně přidat kusovník. Kdežto Smap 3D Isometric sází na schématický izometrický výkres s kompletním výrobním a montážním kusovníkem. Pokud je model potrubí příliš komplexní pro přehledné zobrazení na jednom listu, Smap 3D Isometric rozdělí potrubí do vícero výkresů na základě segmentů vytvořených během procesu generování potrubí. Výkres komplexních potrubí vytvořený funkcí z doplňkového modulu SolidWorks Routing má riziko nepřehlednosti, jelikož se některé kóty mohou překrývat, nebo je model potrubí velmi zmenšený, a tedy hůře čitelný, aby se vešel do hlavního pole výkresu.

Výrazný rozdíl mezi balíčky softwaru je rozšířenost a na ni se vázající množství a rozmanitost podpory ze strany komunity uživatelů. SolidWorks Routing, jakožto rozšířenější ze softwarových balíčků, disponuje velkým množstvím instruktážních videí a textových návodů. U Smap 3D Plant design je efektivně uživatel odkázán pouze na jeden poměrně kvalitní webinář a oficiální podporu a softwarovou nápovědu. Softwarová nápověda je poměrně přehledná a lokalizovaná do českého jazyka, ale některé funkce jsou zde popsány velmi stroze, což způsobuje problémy u méně intuitivních funkcí, jako je například *Vložení koncentrické součásti*.

5.2 Doporučený přístup

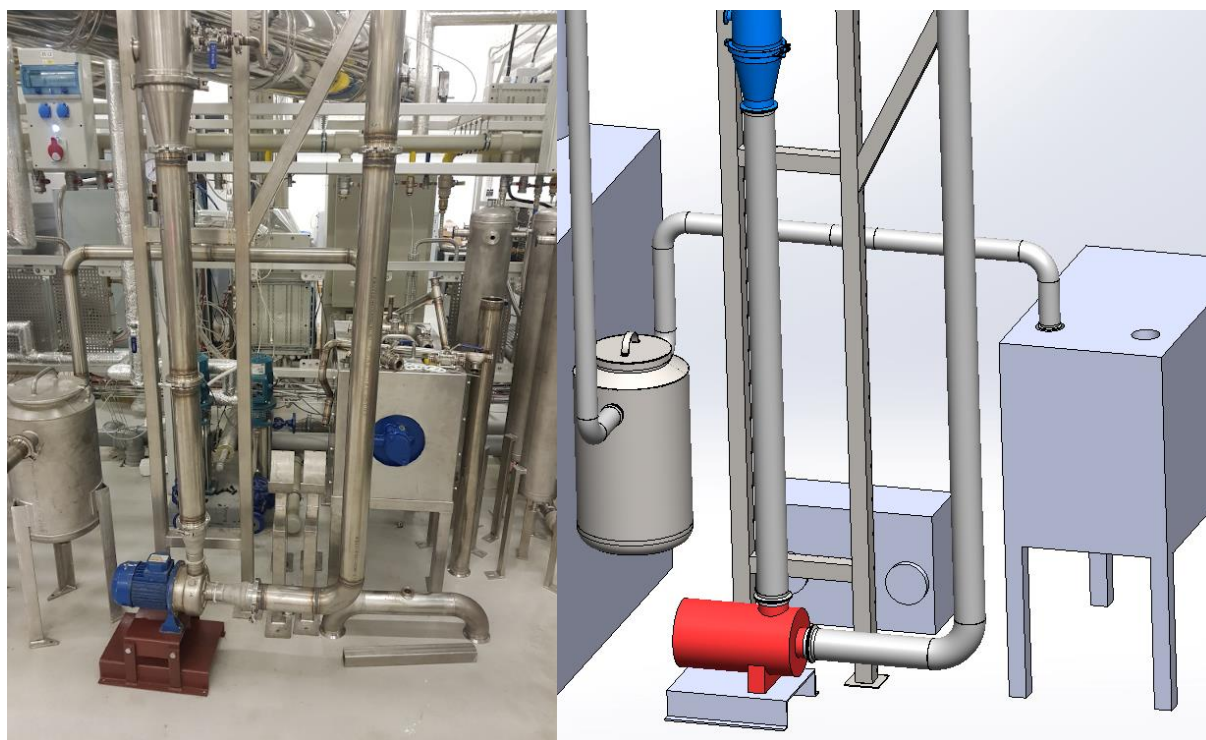
Pro tvorbu 3D modelů potrubí testovací stanice odparek se jeví SolidWorks Routing jako mírně lepší volba, především díky míře automatizace celého procesu. Tvorba jednotlivých potrubí je svižná a vkládání armatur z knihoven intuitivní. Vkládání uživatelem vytvořených armatur bez funkčního SolidWorks Routing library celý proces mírně zpomalilo, přesto se jedná o dobrou volbu pro tvorbu dokumentace jednorázového projektu v akademickém prostředí, kde jsou uživateli dostupné studentské licence SolidWorks Premium.

Ačkoliv Smap 3D Plant design nebyl vybrán jako favorit, stále se jedná o velmi robustní a kvalitní softwarový balíček. Hlavními přednostmi jsou vysoká míra organizovanosti celého návrhového procesu tvorby potrubí a velmi kvalitní výkresová dokumentace. Tyto vlastnosti z něj dělají lepší volbu pro průmyslovou firmu tvořící dokumentaci potrubních sítí než SolidWorks Routing.

6 Současný stav testovací stanice odparek

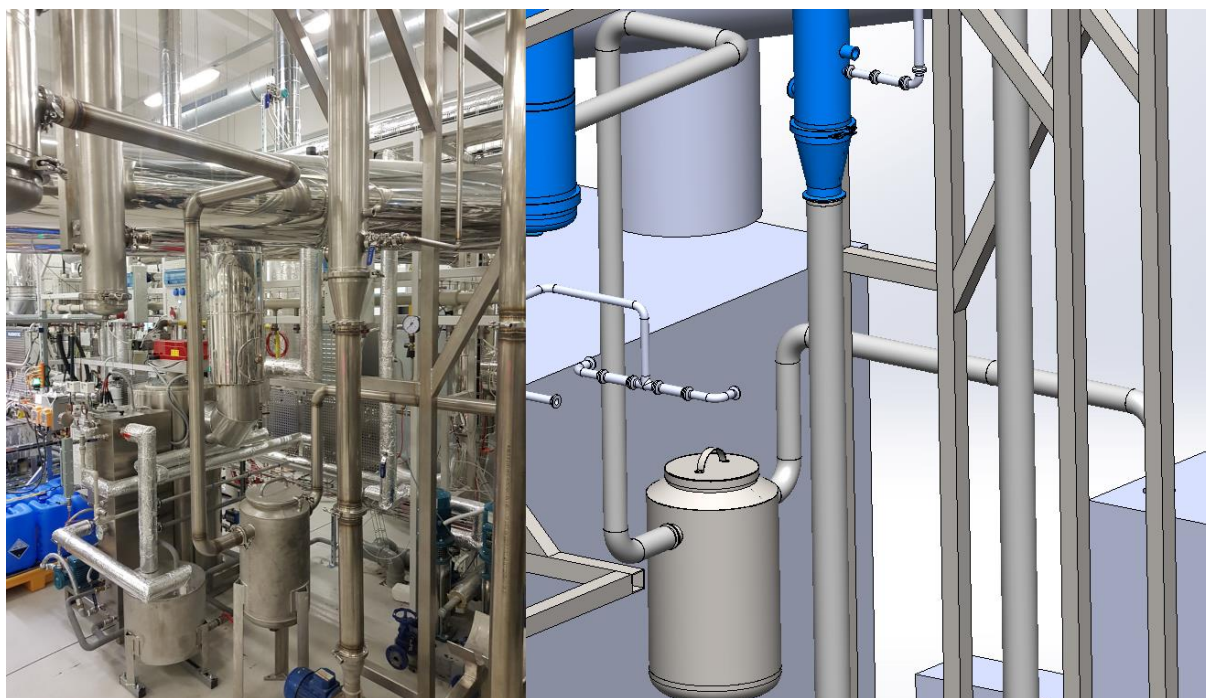
V laboratoři energeticky náročných procesů v současné době probíhá práce na vícero projektech. Testovací stanice odparek má k současnému datu hotovou přibližně 1/3 svářečských prací na potrubí, které byly tvořeny na základě 3D modelů a dokumentace, které vznikly jako doprovodné materiály této práce. 3D modely v mnoha případech stoprocentně neodpovídají reálnému stavu, jelikož při tvorbě modelů a dokumentace došlo ke zjednodušení. Zároveň u některých potrubí bylo nutné přidat prvky pro snadnější manipulaci, montáž a následný provoz. Na následujících příkladech jsou tyto změny patrné.

Součástí cirkulační odparky je cirkulační čerpadlo, které spojuje výměník odparky s odlučovačem, pokud má být odparka operována v režimu s nucenou cirkulací. Zvolené DN 80 potrubí bylo oproti původnímu 3D návrhu rozděleno na vícero segmentů pomocí clampových přírub, které umožňují jednodušší montáž, ale především snadnou rekonfiguraci odparky do režimu s přirozenou cirkulací. Jelikož je model čerpadla mírně zjednodušený, k reálnému potrubí bylo nutné přidat souosé redukce potrubí u sání a výpusti.



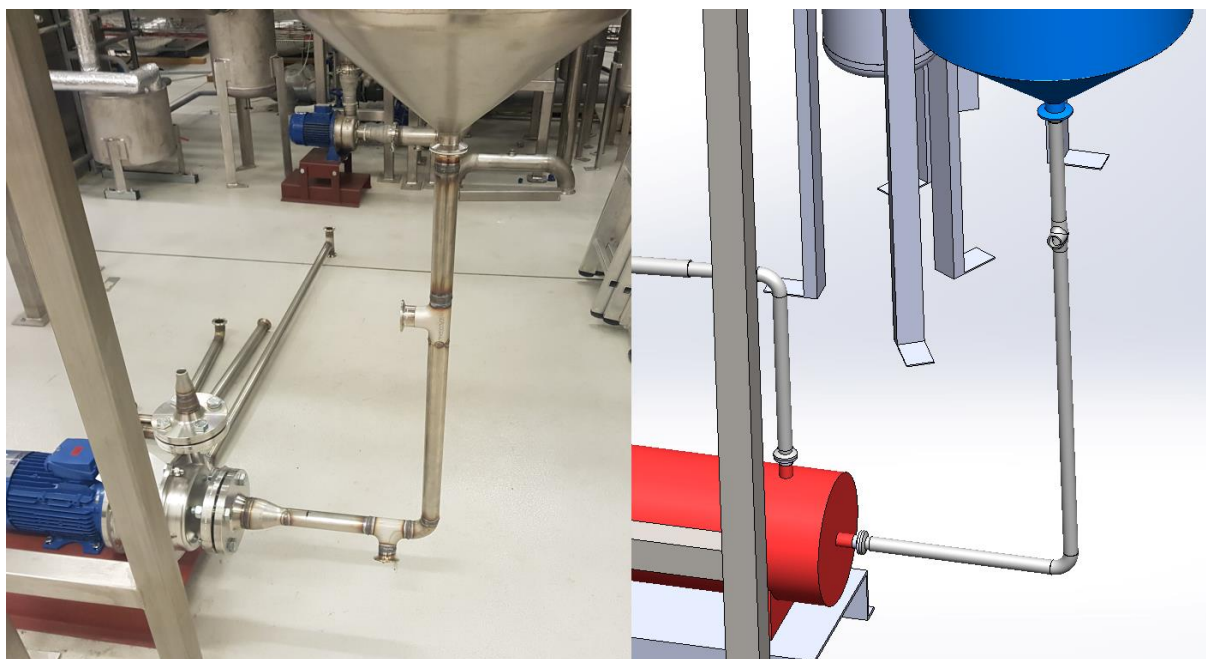
Obrázek 44 Srovnání realizovaného zapojení cirkulačního čerpadla a vymrazovače s hlavní vývěvou s 3D modelem.

Další potrubní část o rozměru DN 50, která je již svařená a téměř hotová, je napojení hlavního kondenzátoru na vymrazovač a jeho následné spojení na hlavní vývěvu celé testovací stanice. Zde se návrh ve formě modelu liší pouze minimálně, konkrétně ve výšce nohou vymrazovače a hlavní vývěvy a také v přesnějším umístění těchto komponent v laboratoři, které je v modelu vytvořeného pomocí Smap 3D Piping pouze orientační.



Obrázek 45 Srovnání realizovaného zapojení vymražovače s 3D modelem

Následující příklad znázorňuje vývod koncentráту z odparky se splývajícím filmem k čerpadlu, které může sloužit k recirkulaci nástřiku, nebo k čerpání koncentráту do nádoby na váze. V 3D modelu je čerpadlo znázorněno pouze orientačně, proto se liší nejen rozměry, ale také typem přírub, které nejsou clampové, ale běžně používané šroubované. Dále byl k potrubí přidán dodatečný T-kus, který umožní snadnou evakuaci zahuštěného koncentráту v případě odstávky.



Obrázek 46 Srovnání realizovaného zapojení odtoku koncentráту z odlučovače do pomocného čerpadla na recirkulaci koncentráту s 3D modelem

Posledním zkoumaným případem je přívod topné páry do obou odparek. V původním návrhu je ovládání přívodu topné páry zamýšleno pomocí kulového kohoutu a pneumatického ventilu, nacházejícím se před T-kusem rozdělujícím potrubí mezi jednotlivé výměňkové části odparek. V hotovém potrubí byly přidány za T-kus kulové kohouty, které umožní průchod páry do provozované odparky a zabrání průchodu páry do odparky odstavené.



Obrázek 47 Srovnání realizovaného zapojení přívodu topné páry k cirkulační odparce a k odparce se splývajícím filmem s 3D modelem

7 Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na posouzení softwarového balíčku Smap 3D Plant design a jeho použití při tvorbě dokumentace potrubí v nově vznikající testovací stanici odparek v Laboratoři energeticky náročných procesů na FSI VUT v Brně. Hlavní částí práce bylo vytvoření 3D modelu testovací stanice, zejména potrubních sítí sloužících k jejímu provozu a také patřičná výkresová dokumentace. Identický model byl nejprve vytvořen pomocí SolidWorks Routing umožňující následné srovnání.

V první části práce byla popsána odpařovací technologie obecně. Následně jsou detailněji probrány typy odparek, které byly zvažovány k umístění do testovací stanice. Jedná se o odparku se splývajícím filmem, cirkulační odparku a rotorovou odparku. První dvě zmíněné odparky jsou v současné době již umístěné v testovací stanici, kdežto rotorová odparka byla z vícero důvodů dočasně z projektu vyjmuta. Teoretické poznatky jsou nutné k identifikaci hlavních komponent tvořících odparky umístěných v laboratoři a k jejich následnému správnému spojení s ostatními částmi testovací stanice pomocí potrubí. Následně je představena samotná testovací stanice a její funkční části. Tedy jednotlivé odparky, kondenzátory, vývěvy, čerpadla a sběrné nádoby.

V druhé části práce je popsána návrhová činnost při tvorbě potrubí, která je rozdělena do tří částí založených na možných postupech tvorby 3D modelů. Prvním možným postupem je tvorba 3D modelů potrubí s využitím pouze SolidWorks bez doplňkových modulů s použitím pouze základních funkcí. Druhý možný postup zahrnuje využití doplňkového modulu SolidWorks Routing, jakožto součásti balíčku SolidWorks Premium. Třetím možným a zároveň posuzovaným přístupem z hlediska vhodnosti použití je Smap 3D Plant design. Postup při tvorbě dokumentace potrubí je po krocích detailně popsán pro jednotlivé přístupy návrhové činnosti. Tyto kroky jsou poté shrnuty do jednoduchých diagramů pracovního postupu. Alternativní postupy s použitím pouze SolidWorks jsou zahrnuty do jednoho schéma a postup pomocí Smap 3D Plant design tvoří schéma druhé. Závěrem této kapitoly jsou uvedeny výhody a nevýhody SolidWorks Routing a Smap 3D Piping. Nejsilnější stránka SolidWorks Routing je vysoká intuitivnost vkládání armatur do 3D modelu, kdežto největší nevýhodou je špatná kompatibilita s verzemi SolidWorks bez doplňku Routing. Největší výhodou Smap 3D Plant Design je vysoká míra organizace celého návrhového procesu, propojenost jednotlivých částí softwaru a velmi kvalitní výkresová dokumentace. Slabší vlastnost Smap 3D činí nižší míra automatizace některých funkcí, které je nutné vykonávat manuálně, které vede ke zpomalení celého návrhového procesu.

Následující část práce srovnává vlastnosti SolidWorks Routing a Smap 3D Plant design a upozorňuje na největší rozdíly mezi oběma balíčky softwaru. Zároveň hodnotí především silné aspekty obou softwarových balíčků. Na základě tohoto srovnání je SolidWorks Routing vybrán favoritem pro jednorázovou návrhovou činnost v akademickém prostředí, kdežto Smap 3D Plant design je vhodnějším nástrojem pro průmyslové použití.

Závěrečná část práce srovnává modely vytvořené v Smap 3D s realizovaným potrubím v testovací stanici odparek na konkrétních vybraných případech.

Reference

1. GINER Santonja, G., KARLIS P., STUBDRUP K., BRINKMANN T. and ROUDIER, S. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Food, Drink and Milk Industries. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). [Online] [Citace: 12. 04 2021.] <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC118627>. ISBN 978-92-76-13091-8.
2. Smap 3D Plant Desing | SOLIDWORKS. [Online] [Citace: 08. 05 2021.] <https://www.solidworks.com/partner-product/smap3d-plant-design>.
3. Laboratoř energeticky náročných procesů. [Online] [Citace: 12. 05 2021.] <http://enp.netme.cz/>.
4. MCCABE, WARREN L., SMITH, JULIAN C. a HARRIOT, P. *Unit Operations of Chemical Engineering Fifth Edition*. Singapore : McGraw-Hill Book Co, 1993. ISBN 0-07-112738-0.
5. MINTON, Paul E. *Handbook of Evaporation Technology*. United States : Noyes Publications, 1986. ISBN 0-8155-1097-7.
6. GREEN D. W., PERRY R. H. *Perry's Chemical Engineers Handbook*. New York : McGraw-Hill , 2008. ISBN 0-07-142294-3.
7. Zbořil, Petr. Chemická technika: tepelné operace. [Online] [Citace: 28. 04 2021.] <http://slideplayer.cz/slide/3320178/>.
8. EARLE, L. R. Unit Operations in Food Processing, Second Edition, Web Edition. [Online] [Citace: 23. 04 2021.] <https://nzifst.org.nz/resources/unitoperations/index.htm>. ISBN 0-08-025536-1.
9. Ústav procesní a zpracovatelské techniky ČVUT: Rudolf Žitný. TEPELNÁ ZAŘÍZENÍ: Odpařování a Odparky. [Online] [Citace: 28. 04 2021.] <http://slideplayer.cz/slide/3065205/>.
10. An important role of Evaporators in food industry. [Online] [Citace: 12. 04 2021.] <https://www.alaquainc.com/evaporator-in-food-industry/>.
11. Evaporator For Wastewater Treatment | SUEZ. [Online] [Citace: 08. 05 2021.] <https://www.suezwatertechnologies.com/products/evaporators-crystallizers/evaporators>.
12. Wastewater Evaporator Applications | ENCON Evaporators. [Online] [Citace: 15. 04 2021.] <https://www.evaporator.com/typical-applications>.
13. PAVLÍKOVÁ Lucie, BROZMANOVÁ Hana, KVASNIČKA František, GRUNDMANN Milan. Terapeutické monitorování léků pomocí elektromigračních metod. [Online] 2007. [Citace: 04. 05 2021.] https://www.solen.cz/artkey/far-200702-0007_Terapeuticke_monitorovani_leku_pomoci_elektromigracnich_metod.php.
14. Common Uses and Applications for Evaporators. [Online] [Citace: 12. 04 2021.] <https://thermalkinetics.net/common-uses-applications-evaporators>.

15. WILDA, V. *Projektování průmyslových potrubí a potrubních rozvodů*. Praha : SNLT-Nakladatelství technické literatury, 1969.
16. PARISHER, Roy A. a Robert A. RHEA. *Pipe drafting and design 3rd ed.* Waltham, MA : Elsevier/GPP, 2012. ISBN 9780123847003.
17. MORAN, Sean. *An applied guide to process and plant design*. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2015. ISBN 9780128002421.
18. Náповěda pro SOLIDWORKS, Přehled SOLIDWORKS Routing. [Online] [Citace: 12. 04 2021.] http://help.solidworks.com/2018/czech/SolidWorks/sldpipin9/c_routing_overview.htm.
19. Sada nástrojů Plant 3D 2022 je součástí aplikace AutoCAD. [Online] [Citace: 12. 04 2021.] <https://www.autodesk.cz/products/autocad/included-toolsets/autocad-plant-3d>.
20. Smap 3D Plant Design - CAD Partner. [Online] [Citace: 12. 04 2021.] <https://solidedge.siemens.com/en/partner/smap3d/>.
21. SolidWorks - komplexní nástroj pro 3D CAD navrhování | SolidVision. [Online] [Citace: 08. 05 2021.] <https://www.solidvision.cz/solidworks/>.
22. GmbH, Smap3D Plant Design. [Online] [Citace: 13. 02 2021.] <https://www.smap3d.com/en/about-us/company>.
23. CAD Partner GmbH. [Online] [Citace: 17. 02 2021.] <https://www.cadpartner.de/en-CAD-Partner.html>.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma odparky se splývajícím filmem, založeno na schéma převzatém z [4]	16
Obrázek 2 Schéma cirkulační odparky, založeno na schéma převzatém z [4]	18
Obrázek 3 Schéma rotorové Müllerovy odparky, založeno na schématu převzatém z [9]	19
Obrázek 4 Zjednodušené schéma testovací stanice odparek	22
Obrázek 5 Struktura SolidWorks Premium	25
Obrázek 6 Příklad s nádobami, pohled z boku	26
Obrázek 7 Příklad s nádobami, pohled ze shora	26
Obrázek 8 Vytvoření nové sestavy utvářející finální potrubí	27
Obrázek 9 2D skica znázorňující průřez trubky	27
Obrázek 10 3D skica znázorňující trasu trubky	28
Obrázek 11 Ukázka funkce Táhnout po křivce, která vytvoří model potrubí	28
Obrázek 12 Výsledná sestava potrubí	29
Obrázek 13 Potrubí zavazbené k nádobám	29
Obrázek 14 Špatně navržené potrubí vyžadující editaci	30
Obrázek 15 Úprava potrubí na potřebný rozměr	30
Obrázek 16 Potrubí rozdělené na dva díly s vloženým T-kusem	31
Obrázek 17 Model trubky vygenerovaný pomocí funkce Vložit profil	31
Obrázek 18 Dostupné příruby v Knihovně návrhů	32
Obrázek 19 Dostupné konfigurace příruby	33
Obrázek 20 Příruby vložené do sestavy s nádobami	33
Obrázek 21 Ukázka manuálního vyznačení trasy potrubí	34
Obrázek 22 Hotové potrubí	34
Obrázek 23 Automaticky generovaná trasa potrubí	34
Obrázek 24 Automaticky vygenerovaná trasa potrubí, která je nerealizovatelná	35
Obrázek 25 Potrubí s vloženým T-kusem	35
Obrázek 26 Izometrický výkres pomocí příslušné funkce s kusovníkem jednotlivých prvků	36
Obrázek 27 Algoritmus návrhu potrubí pomocí SolidWorks s a bez doplňku Routing	37
Obrázek 28 Příklad sestavy potrubí v 3D modelu testovací stanice odparek vytvořeného pomocí SolidWorks Routing	39
Obrázek 29 Struktura Smap 3D Plant Design	40
Obrázek 30 Databáze dostupných symbolů pro komponenty Smap P&ID	41
Obrázek 31 Nastavení nově vložené komponenty v Smap P&ID	42
Obrázek 32 Nádoby spojené potrubím v Smap P&ID	43
Obrázek 33 P&ID To-Do list	44
Obrázek 34 Coordinate System Wizard s nadefinovanými souřadnými systémy v přírubě	45
Obrázek 35 Uživatelské rozhraní SMAP 3D Piping	46
Obrázek 36 Rýsování 3D skici trasy potrubí	46
Obrázek 37 Jednotlivé trasy a segmenty vytvořené funkcí Vygenerovat trasy potrubí	47
Obrázek 38 Potrubí vygenerované za pomoci Smap 3D Piping	48
Obrázek 39 Izometrický výkres vytvořený pomocí softwaru Smap 3D Isometric	49
Obrázek 40 Automaticky vytvořený výrobní kusovník v Smap 3D Isometric	49
Obrázek 41 Automaticky vytvořený montážní kusovník v Smap 3D Isometric	49

Obrázek 42 Algoritmus návrhu potrubí pomocí Smap 3D Plant design	50
Obrázek 43 Vlevo 3D model testovací stanice odparek s potrubím vytvořeným za pomoci Smap 3D Piping. Vpravo 3D model testovací stanice odparek s potrubím vytvořeným za pomoci SolidWorks Routing.....	53
Obrázek 44 Srovnání realizovaného zapojení cirkulačního čerpadla a vymražovače s hlavní vývěvou s 3D modelem.	56
Obrázek 45 Srovnání realizovaného zapojení vymražovače s 3D modelem.....	57
Obrázek 46 Srovnání realizovaného zapojení odtoku koncentrátu z odlučovače do pomocného čerpadla na recirkulaci koncentrátu s 3D modelem	57
Obrázek 47 Srovnání realizovaného zapojení přívodu topné páry k cirkulační odparce a k odparce se splývajícím filmem s 3D modelem	58

Seznam Příloh

Příloha č. 1 Sestava_potrubí_Smap3D